

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОБУТАНОЛУ

Дуднік А.С., Зубченко Л.С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, [dudnik.anna@iit.kpi.ua](mailto:dudnik.anna@iit.kpi.ua)

Біобутанол – це рідке біопаливо, яке отримують найчастіше шляхом ацетонобутилового бродиння. Енергоємність біобутанолу вища ніж біоетанолу. Його можна змішувати з бензином у вищих пропорціях в порівнянні з біоетанолом, при цьому немає необхідності у модернізації двигуна. Біобутанол при згоранні не утворює оксидів Сульфуру та Нітрогену, тому додавання його до палив, виготовлених з нафтопродуктів, чинить позитивний вплив на стан довкілля.

На сьогодні встановлено можливість використання для виробництва біобутанолу великої кількості видів різноманітної сировини в основному рослинного походження. Основними компонентами сировини, яку використовують для біосинтезу бутанолу, є цукри (зокрема глюкоза та сахароза), тому сировина, що містить прості цукри або може бути відносно легко до них розкладена, підходить для його виробництва. Також для біосинтезу бутанолу може використовуватися гліцерол. В залежності від використаної сировини отримане біопаливо прийнято розділяти на три групи: біобутанол першого, другого та третього покоління.

Метою даної роботи є порівняльний аналіз перспектив використання сировини різних типів та різних продуцентів для виробництва біобутанолу.

Головним недоліком сировини першого покоління є те, що її можна також використовувати для виготовлення продуктів харчування, що створює значну конкуренцію біоенергетики та харчової промисловості і, безперечно, є неетичним з огляду на розподіл харчових ресурсів у світі. Вихід біобутанолу для такої сировини зазвичай найвищий, наприклад, при використанні цукрової меляси як сировини і *Clostridium beijerinckii* як продуцента вихід біобутанолу становив  $6 \text{ г/дм}^3$  ( $0,30 \text{ г/г}$  вуглеводів) [1].

Вихід біобутанолу з сировини другого покоління також достатньо високий. Так, при використанні рисової соломи як субстрату та продуцента *Clostridium sporogenes* VE01, вихід біобутанолу становив  $5,52 \text{ г/дм}^3$  [2]. Недоліком використання сировини другого покоління є необхідність оцукрювання лігніноцелюлози за допомогою специфічних ферментів або хімічних реагентів, що ускладнює процес отримання біобутанолу та підвищує його собівартість.

Біобутанол третього покоління отримують з використанням макро- та мікроводоростей як субстрату. Найчастіше використовують біомасу мікроводоростей, яка залишилась після виробництва біодизеля (екстракції ліпідів), проте це також може бути біомаса від інших технологічних процесів, таких як: виробництво антоціанів і каротиноїдів, доочищення стічних вод за допомогою мікроводоростей тощо. Наприклад, при використанні змішаної біомаси мікроводоростей, в якій переважно домінували *Scenedesmus*, *Chlorella* та

*Micromonas*, вихід біобутанолу становив 3,74 г/дм<sup>3</sup>, при цьому ферментацію здійснювали за допомогою *Clostridium saccharoperbutylacetonicum N1-4* [2]. З використанням *Clostridium acetobutylicum* для ферментації отримані близькі до попередніх за значенням результати – 3,86 г/дм<sup>3</sup> (0,13 г/г вуглеводів) [3]. Використання надлишкової біомаси *Chlorella sp.*, яка накопичується при доочищенні стічних вод від неорганічних сполук Нітрогену і Фосфору, дозволяє отримати вихід біобутанолу до 6,23 г/ дм<sup>3</sup> (0,16 г/г вуглеводів) [4].

Як правило, попередній ферментативний, хімічний або термічний гідроліз біомаси водоростей значно підвищує вихід біобутанолу, оскільки гідроліз сприяє вивільненню моносахаридів з полісахаридів, які присутні в клітинах водоростей як запасні речовини чи компоненти клітини (клітинна стінка). Зокрема, при використанні ферментативної обробки біомаси мікроводоростей перед ферментацією вихід суміші біобутанолу, ацетону і етанолу становив 7,27 г/дм<sup>3</sup> в порівнянні з 2,74 г/дм<sup>3</sup>, отриманим при кислотному гідролізі [2]. Проте, багато представників роду *Clostridium* мають здатність до ферментативного гідролізу полісахаридів, у разі використання цих організмів можливе отримання біобутанолу з біомаси водоростей без попередньої обробки [5].

Також перспективною сировиною для отримання біобутанолу є гліцерол, при ферментації якого бактеріями *Clostridium pasteurianum GL11* можна досягнути виходу біобутанолу 14,7 г/дм<sup>3</sup> (0,41 г/г гліцеролу) [5].

Хоча очевидно, що при використанні як субстрату біомаси мікроводоростей, вихід біобутанолу є майже в два рази нижчий, в порівнянні з іншою сировиною, обравши сировину третього покоління та продуцента, який має здатність до ферментивного гідролізу полісахаридів, ми не тільки отримаємо новий енергоємний продукт, але й вирішимо проблему утилізації відходів виробництва біодизеля. Враховуючи, що гліцерол також є одним з відходів виробництва біодизеля, доцільною є сумісна переробка гліцеролу та біомаси водоростей з отриманням біобутанолу. Дана стратегія дозволяє не тільки отримати два типи продукту в одному технологічному процесі, але й наблизити виробничий процес до «zero-waste» технології.

### **Список використаної літератури:**

1. Kim, M. & Day, Donal. Butanol production from sugarcane juices. International Sugar Journal. 2010. 112:601-605.
2. Ndaba B, Chiyanzu I, Marx S. n-Butanol derived from biochemical and chemical routes: A review. Biotechnol Rep (Amst). 2015;8:1-9.
3. Cheng H.H., et. al. Biological butanol production from microalgae-based biodiesel residues by *Clostridium acetobutylicum*. Bioresour. Technol. 2015;184:379–385.
4. Onay M. Investigation of Biobutanol Efficiency of *Chlorella sp.* Cultivated in Municipal Wastewater. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2018; 6: 40-50.
5. Xin F. et. al. Comprehensive investigations of biobutanol production by a non-acetone and 1,3-propanediol generating *Clostridium* strain from glycerol and polysaccharides. Biotechnology for Biofuels. 2016. 9:220.