

УДК 621.436

В.Д. БІЛОДІД, канд. техн. наук, П.В. ТАРАСЕНКО, канд. хім. наук (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

ДЕЯКІ РОЗРАХУНКИ ЩОДО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОПАЛИВ

Проведено детальний аналіз із визначенням енергоємності біопалив (біоетанолу та біодизельного пального) для умов України з урахуванням витрат енергії на вирощування сировини, її збирання, транспортування, зберігання, а також переробку на рідкі види палива за існуючими технологіями.

На сьогодні точиться чимало дискусій щодо заміни бензину та дизпалива на інші енергоносії, зокрема етанол і дизпаливо, які отримуються з сировини рослинного походження (біоетанол та біодизельне пальне). Ці види пального вже набули поширення в деяких країнах Заходу, але останнім часом почали з'являтися публікації, що піддають сумніву доцільність їх подальшого розвитку. На наш погляд, ці сумніви є правильними і можуть бути обґрунтовані з огляду на енергетичну ефективність пального.

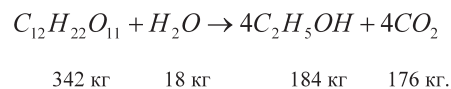
Енергетична ефективність технології, як відомо, визначається корисним ефектом від її реалізації. Корисним ефектом будь-якої енергетичної технології є різниця між виходом енергії з одиниці палива та затратами енергії на отримання цієї одиниці палива. Якщо ця різниця від'ємна або близька до нуля, то технологія є енергетично неспроможною.

Слід зауважити, що енергетичні витрати на отримання традиційного пального (бензин, дизпаливо, природний газ) з урахуванням видобування, транспортування, переробки та зберігання не перевищують 10–20% їх енергетичного потенціалу, що робить їх енергетично дуже ефективними. Щонайменше 85% енергетичного потенціалу цих видів пального (в середньому) використовується споживачами корисно.

Розглянемо докладніше енергетичну спроможність біопалив і спробуємо дати відповідь на два фундаментальних запитання: скільки енергії ми отримуємо при використанні одиниці біопалива та скільки енергії необхідно витратити на отримання цієї одиниці біопалива.

На перше питання відповісти легко, оскільки дані щодо теплотворної здатності цих видів пального добре відомі – хоча значення даного показника дещо коливається, в середньому він дорівнює ~22,5 МДж/л для етанолу 96%-го складу та ~35,2 МДж/л для біодизельного пального [1–3]. Щодо другого запитання відповідь не така очевидна. Спробуємо її знайти.

У країнах Європи біоетанол виготовляється із зерна та цукрового буряку, тобто з крохмале- та цукровмісної сировини:



З тонни цукру теоретично утворюється 538 кг (681 л) абсолютного (100%-го) етанолу. З урахуванням втрат на всіх стадіях виробництва промисловий вихід етанолу приймаємо за 90% теоретичного, тобто з тонни цукру можна одержати 484 кг (613 л) абсолютного, або 508,9 кг (638,5 л) 96%-го етанолу.

Технологія виробництва паливного етанолу із зерна злакових культур містить такі стадії:

- вирощування зерна, його збирання, транспортування до сховищ, зберігання;
 - транспортування зерна до переробних підприємств, його розмелювання та розварювання розмелу;
 - ферментативне оцукровування крохмалю;
 - бродіння;
 - ректифікація зрілої браги і транспортування готового продукту до споживачів (сховищ).
- Технологія виробництва етанолу з цукрового буряку дещо відрізняється і містить такі стадії:
- вирощування цукрового буряку, його збирання, транспортування до заводів;
 - приготування бурякової стружки;
 - одержання дифузійного соку;
 - бродіння;
 - ректифікація зрілої браги і транспортування готового продукту до споживачів (сховищ).

Для порівняння енергетичних затрат при виробництві літра 96%-го технічного етанолу обрано такі зернові культури: озима пшениця; ячмінь (пивоварний); кукурудза; цукровий буряк.

Озима пшениця. Зерно озимої пшениці, за різними даними, містить від 48 до 64% крохмалю. Згідно з даними Миронівського НДІ селекції та насінництва пшениці [4], за інтенсивної технології вирощування з розрахунковим врожаєм 50 ц/га, загальні енергетичні затрати разом із внесенням добрив, хімікатів, насіння тощо становлять 31,315 тис. МДж/га, з яких: прямі витрати дизпаливного за весь технологічний цикл –

152,44 кг/га (6,860 тис. МДж/га). За цією технологією при розрахунковому врожаї загальні затрати енергії становлять близько 6,2 МДж/кг. Згідно з даними цього ж інституту при вирощуванні озимої пшениці за ресурсозберігаючою та екологічно чистою технологією, яка передбачає внесення 50 т/га органічних добрив, повні затрати енергії становитимуть 31,350 тис. МДж/га, прямі затрати палива при цьому зменшуються до 114 кг/га (5,130 тис. МДж/га). Енергоємність кілограма зерна, вирощеного за цією технологією, дорівнюватиме 5,0–5,1 МДж (за середнього врожаю 62,6 ц/га). Водночас у США, за даними 2006 року, сумарні затрати на виробництво пшениці були меншими і становили від 3,1 до 4,9 МДж/кг (у середньому 3,9 МДж/кг) [5]. При цьому на дизпаливо припадало 25% усіх енергетичних затрат, а на азотні добрива – 47%.

З огляду на проблематичність надвисокої врожайності в Україні в розрахунках беремо значення урожайності пшениці в 50 ц/га із вмістом крохмалю в зерні 62% та за середньої розрахункової енергоємності як у США – 3,9 МДж/кг (що видається дуже оптимістичним).

Ярий ячмінь. Зерно ярого ячменю, особливо так званих дворядних або пивоварних сортів, за різними даними [6, 7], містить від 60 до 70% крохмалю, відзначається мучнистістю та хорошою клейстеризацією розмелу. Молоді рослини стійкі до заморозків. Завдяки порівняно короткому вегетаційному періоду врожай встигає сформуватися до настання літніх посух. За даними 1984–1989 рр., середні витрати енергоресурсів на вирощування ячменю в Україні становили 19,706 тис. МДж/га, в т.ч. витрати дизпалива ~83,8 кг/га (що є еквівалентним 3,770 тис. МДж/га). При врожаї 30 ц/га затрати енергії на виробництво кілограма зерна становлять 6,57 МДж/кг. У США, за даними 1964–1968 рр., при врожаї ячменю 28,7 ц/га повні енергетичні затрати становили 8,858 тис. МДж/га, або 3,09 МДж на кілограм зерна. При цьому прямі затрати дизельного палива становили 46,5 кг/га (2,093 тис. МДж/га) [4].

З огляду на зазначене вище, в розрахунках приймаємо значення врожайності ярого ячменю для України в 30 ц/га, із вмістом крохмалю в зерні 62% та за середньої розрахункової енергоємності (такими як у США) – 3,1 МДж/кг.

Кукурудза. За різними даними [8, 9], зерно кукурудзи містить від 60 до 70% крохмалю (в т.ч. цукор і глюкозу). Дані щодо енергетичних затрат при виробництві зерна кукурудзи в

Україні є досить суперечливими. Так, за період 1984–1989 рр. наводяться середні величини повних енергетичних витрат у 38,949 тис. МДж/га, в т.ч. затрати дизпалива – 270 кг/га (12,142 тис. МДж, 31,2%) [4]. Навіть якщо припустити, що середня врожайність зерна при цьому становила 50 ц/га (а вона була значно нижчою, наприклад, в 1990 році – 38,7 ц/га [9]), енерговитрати на кілограм зерна становитимуть надто багато – 7,79 МДж/кг. Разом із тим відповідно до вимог технологічної карти вирощування і збирання кукурудзи на зерно за інтенсивною технологією [8] затрати дизельного палива повинні становити 92 кг/га (4140 МДж/га) при врожаї 35 ц/га або 90,28 кг/га (4063 МДж/га) при врожаї 40 ц/га. За даними по США, сукупні затрати енергії при вирощуванні кукурудзи становлять 26,333 тис. МДж/га, в т.ч. 140 кг/га дизпалива (6,280 МДж/га). При цьому вказується середня врожайність зерна – 71,3 ц/га, тобто енергетичні витрати на зерно кукурудзи в США становлять 3,7 МДж/кг [4].

Таким чином, у розрахунках для умов України приймаємо значення врожайності кукурудзи в 50 ц/га, із вмістом крохмалю в зерні 65% та за середньої розрахункової енергоємності на рівні 4 МДж/кг.

Цукровий буряк. Вміст цукру в коренях залежно від умов вирощування коливається в межах 14–18%. За базову цукристість приймається вміст цукру 16%. Середня врожайність цукрового буряку по Україні за 1991–1995 рр. становила 205 ц/га при вмісті цукру 16,22% [10]. Інститутом цукрових буряків УААН розроблено інтенсивну ресурсо- та енергозберігаючу технологію вирощування цукрового буряку, яка забезпечуватиме врожайність 350–500 ц/га, а також іншу технологію вирощування з комбінованою шириною міжрядь. Для інтенсивної технології енергетичні затрати становлять 66,363 тис. МДж/га, в т.ч. із витратою дизпалива 274,2 кг/га (12,339 тис. МДж/га). Для другої технології енерговитрати дорівнюють 43,1 тис. МДж/га, в т.ч. з витратою дизпалива 217,9 кг/га (9,806 тис. МДж/га) [11, 12].

У розрахунках приймаємо максимальне середнє значення врожайності цукрового буряку в 450 ц/га із вмістом цукру в коренях 16% та за середньої розрахункової енергоємності на рівні 0,96 МДж/кг.

До цих енерговитрат, пов'язаних із вирощуванням зернових культур і цукрового буряку, необхідно додати витрати на транспортування

зерна до зернохосвищ і витрат енергії на зберігання зерна в них, витрат енергії на транспортування цукрового буряку на цукроварні. Ці витрати є змінними і залежать від багатьох факторів: дальності перевезення, кліматичних умов, термінів зберігання тощо. Для розрахунків приймаємо їх значення для зерна у розмірі 10% затрат на вирощування (найнижче можливе значення), а для цукрового буряку – 20% (з урахуванням масштабів перевезень).

Підсумкові дані щодо енерговитрат на вирощування сировини для виробництва етанолу з урахуванням прямих і опосередкованих затрат енергії (дизельне паливо, мінеральні добрива, гербіциди, насіння тощо) наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

| Сировина | Врожайність, ц/га | Енерговитрати, МДж/кг | Вміст крохмалю (цукру), % |
|----------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| Пшениця озима | 50 | 4,29 | 62 |
| Ячмінь ярий | 30 | 3,41 | 62 |
| Кукурудза | 50 | 4,4 | 65 |
| Буряк цукровий | 450 | 1,152 | 16 |

Далі необхідно розрахувати енергетичні витрати на власне виробництво етанолу з отриманої сировини. На стадії розварювання зернового розмелу енерговитрати суттєво залежать від тонкості розмелювання [13]. Так, при розварюванні зерна грубого розмелу на літр майбутнього 96%-го етанолу витрачається 1,5 кг атмосферної пари (4,31 МДж/л). За тонкого ж розмелу – значно менше – на рівні 30% попередніх затрат, тобто 1,293 МДж/л. Необхідний тонкий розмел зерна може здійснюватись, наприклад, на вальцових машинах типу А1-БЗН продуктивністю 84 т/добу з повною потужністю електроприводів 52 кВт. У цьому випадку затрати енергії при розмелюванні становлять 0,159 МДж/кг зерна [14].

На стадії приготування бурякової стружки у відцентровій бурякорізці А2-ПРБ-24 (продуктивність – 3000 т/добу, потужність електроприводів – 125 кВт) затрати енергії становлять 0,0107 МДж/кг [15].

Екстракція бурякової стружки при одержанні дифузійного соку здійснюється гарячою водою (з температурою на рівні 80–100°C). На 100 кг стружки витрачається 33,5 МДж гарячої води [16]. Додаткова затрата енергії при роботі шнекового дифузійного апарату, наприклад

типу А1-ПД2-С30 (продуктивність – 3000 т/добу, потужність електроприводів – 117 кВт), становить 0,01 МДж/кг [15].

Основним споживачем енергії на спиртових заводах є брагоректифікаційне відділення. Затрати енергії при ректифікації зрілої браги з вмістом спирту 8–10% об. на атмосферних ректифікаційних установках при одержанні 96%-го спирту категорії В становить [17]:

| | |
|---------------------------------------|------------------|
| вода технічна 0,474 м ³ /л | 2,78 МДж |
| умовне паливо 0,474 кг/л | 13,89 МДж |
| електроенергія 0,103 кВт·год/л | 1,08 МДж |
| Всього | 17,75 МДж |

Затрати енергії при ректифікації на вакуумних ректифікаційних установках зрілої браги з одержанням такого самого спирту є дещо меншими і за даними [17] становлять:

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| вода технічна 0,04 м ³ /л | 0,234 МДж |
| пара атмосферна 3,5 кг/л | 10,5 МДж |
| електроенергія 0,123 кВт·год/л | 1,319 МДж |
| Всього | 12,05 МДж |

Вважається, що затрати енергії при одержанні технічного 96%-го спирту категорії В становлять 80% попередніх затрат [13]. Отже, на атмосферних ректифікаційних установках вони становитимуть 14,21 МДж/л, а на вакуумних – 9,285 МДж/л.

В таблиці 2 зведено результати підрахунку повних енергозатрат при виробництві літра біоетанолу з відповідної сировини.

Таблиця 2

| Сировина | Витрати сировини, кг/л | Енергоємність сировини, МДж/л | Повні енерговитрати, МДж/л | |
|----------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | | | Атмосферна ректифікація | Вакуумна ректифікація |
| Пшениця озима | 2,525 | 10,83 | 28,58 | 22,88 |
| Ячмінь ярий | 2,525 | 7,83 | 25,58 | 19,88 |
| Кукурудза | 2,41 | 9,64 | 27,39 | 21,69 |
| Буряк цукровий | 9,79 | 11,28 | 29,7 | 24,3 |

З даних таблиці 2 з урахуванням теплотворної здатності етанолу бачимо, що корисний ефект від використання біоетанолу навіть за припущень щодо кращих технологій та вищої врожайності (які і взято у наших розрахунках) фактично є нульовим для всіх видів сировини. Майже всю енергію, отри-

ману від літра етанолу, буде використано на його відтворення.

При цьому слід мати на увазі, що в наведених розрахунках враховано не всі витрати енергії, а лише витрати технологічні (фізичні). Тоді як на всіх стадіях: вирощування, збирання, транспортування та зберігання зерна, виробництво із зерна етанолу та його транспортування до споживачів – витрачалася праця людей, яким платили заробітну платню, витрачалися ресурси обладнання, машин, механізмів і споруд, в яких відбувалися виробничі процеси (амортизація), оплачувалися витрати за освітлення, опалення приміщень (комунальні платежі), сплачувалися податки і збори до бюджетів та фондів різного спрямування. Крім того, в усіх припущеннях щодо врожайності культур та їх енергоємності при вирощуванні було прийнято максимально сприятливі значення величин, досягти яких у середньому по країні вдасться не скоро, а то і ніколи. Всі ці економічні витрати необхідно також перевести в енергетичні та додати до отриманих величин енерговитрат. Тоді ми матимемо результат, за умов якого виробництво біоетанолу потребує значно більше енергії, ніж віддача від його використання (на нашу думку, це перевищення сягає 50–60%). Тобто реальна усереднена енергоємність біоетанолу в умовах України на сьогодні становить не менше 42,4–45,2 МДж/кг (34–36,5 МДж/л).

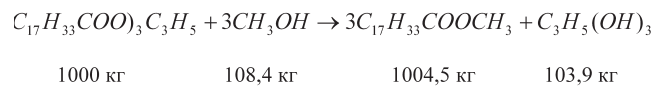
Слід зазначити, що і в США, які є основним виробником зернового біоетанолу, коефіцієнт енергетичної ефективності характеризується значеннями від 1,25 [21] до 0,59 [22, 23]. Тобто повні енергетичні затрати на виробництво біоетанолу в США коливаються в межах від 18 до 38,2 МДж/л. І це за значно сприятливіших кліматичних умов, що позначаються на рівні врожайності культур (зокрема кукурудзи).

Таким чином, цей напрям отримання енергоресурсів не можна вважати енергетично доцільним. Він може мати лише локальне значення для випадків, коли етанол (або сировина для його виробництва) є надлишковим відхідним матеріалом, що підлягає утилізації та знищенню (тобто коли витрати енергії на транспортування та підготовку сировини для виробництва етанолу є незначними і не перевищують 4–5 МДж/л готового продукту).

Біодизельне пальне. За умов помірного клімату масштабне виробництво біодизельного пального практично здійснюється лише на основі ріпакової олії шляхом її переетерифікації метиловим спиртом. Технологія одержання біодизельного палива містить три стадії:

- вирощування сировини для отримання олії, її збирання, транспортування та зберігання;
- одержання безпосередньо рослинної олії;
- переетерифікацію олії метиловим спиртом.

Залежно від жирнокислотного складу для переетерифікації тонни ріпакової олії необхідно від 93 до 118 кг метанолу. Якщо виходити з того, що олія складається виключно з гліцеринтриолеату, то для переетерифікації тонни теоретично необхідно витратити 108,4 кг (136,2 л) метанолу:



Додатково як катализатор процесу переетерифікації застосовується 12–14 кг гідроксиду натрію чи калію та відповідна кількість соляної чи сірчаної кислоти для нейтралізації гідроксиду після закінчення реакції та розділення емульсії на верхній безводний шар біодизельного палива та нижній водногліцеринний шар.

Практичний вихід біодизельного пального з тонни олії не перевищує однієї тонни (без дистиляції у вакуумі). Слід зазначити, що сумарні енергетичні затрати на виробництво кілограма паливного метанолу з природного чи попутного газу за існуючою технологією автотермічного риформінгу [18] становлять 28,47 МДж. Отже, 108,4 кг метанолу є еквівалентним затратам енергії в 3,086 тис. МДж.

Вміст олії в зерні ріпаку коливається від 38 до 50% (в середньому становить близько 40%) [19]. Отже для одержання тонни біодизельного палива з гектара посівів слід орієнтуватись на врожай ріпаку на рівні 25 ц/га. З кожним центнером зерна ріпаку з ґрунту виноситься 3,9 кг азоту (в перерахунку на N), 1,8 кг фосфору (P₂O₅), 1,1 кг калію (K₂O). Це без урахування виносу основних поживних речовин із соломою. Таким чином, для підтримання тривалої стабільності ґрунту щодо вмісту поживних речовин їх винос із врожаєм зерна слід компенсувати внесенням мінеральних добрив із відповідною кількістю діючих речовин: 97,5 кг N (енергетичний еквівалент 8643 МДж), 45 кг P₂O₅ (567 МДж), 27,5 кг K₂O (228 МДж) [4, 20]. І це за умови повного повернення соломи ріпаку в ґрунт.

За даними UFOP – Спілки виробників олійних та білкових культур – на виробництво тонни біодизельного пального прямі енерговитрати в перерахунку на дизельне паливо становлять 235–365 кг, із них: у сільському господарстві 41% (96,4–149,7 кг, або 4,338–6,736 тис. МДж), на олійних заводах 27% (63,5–98,5 кг, або

2,857–4,432 тис. МДж), на стадії переетерифікації 32% (75,2–116,8 кг, або 3,384–5,256 тис. МДж) [19]. Мінімальна сума прямих енергетичних витрат становить 10,579 тис. МДж, максимальна – 16,424 тис. МДж. Згідно з калькуляцією виробничих витрат (за даними Івано-Франківського інституту хрестоцвітних культур [20]) прямі затрати дизельного палива за врожаєм ріпаку в 20 ц/га становлять 74,3 кг/га, що близько до мінімального значення, вказаного UFOP – 96,4 кг/га, але за врожаєм в 25 ц/га.

До непрямих енергетичних витрат у сільському господарстві слід віднести затрати на деякі допоміжні матеріали: насіння (4,5 кг, 90 грн. за цінами 2004 року), борне добриво (14 грн.), фунгіцид (1,5 г, 184 грн.), інсектицид (70 г, 40 грн.) сумарно – 328 грн. [20]. Припустимо, що енергетичний еквівалент цих матеріалів не перевищує ~400 МДж (що значно менше, ніж ми отримуємо виходячи з сумарної вартості матеріалів у перерахунку на вартість дизельного пального).

Якщо до прямих енергетичних затрат на всіх стадіях додати затрати на добрива та допоміжні матеріали в сільському господарстві та енергетичні затрати на метанол на стадії переетерифікації, то мінімальна повна енергоемність виробництва тонни біодизельного палива становитиме 23,503 тис. МДж, а максимальна – 29,348 тис. МДж, тоді як енергетичний еквівалент одержаного біодизельного пального дорівнює близько 40 тис. МДж.

Отже корисний ефект від використання біодизельного палива становить від 10 до 16,5 МДж/кг, або 25–41% його енергетичної потенції. Із наявних 40 МДж/кг від 23,5 до 30 МДж/кг витрачаються на його отримання.

Слід зауважити, що ці розрахунки дійсні за середньої врожайності ріпаку в 25 ц/га. За вищої врожайності корисний ефект збільшуватиметься, за нижчої – зменшуватиметься. При цьому залежність від урожайності не є лінійною. За врожайності вже в 15 ц/га корисний ефект стає нульовим.

Крім того, знову ж таки тут не враховано фактори, спричинені фізичною працею людей, амортизацією обладнання та споруд, податками і зборами на зарплату, іншими витратами, які теж мають енергетичний еквівалент. Оцінку цього еквівалента буде зроблено в подальших роботах, тоді як у цій – ми лише оцінимо їх приблизне значення. На нашу думку, повні енергетичні витрати з урахуванням цієї складової знаходяться на рівні наявного енергетичного еквівалента біодизельного пального або навіть перевищуватимуть його на 20–30%. Тобто повна енергоемність біодизельного пального з ріпаку становить для умов України 40–50 МДж/кг (35,2–44 МДж/л). Таким чином, біодизельне паливо також має лише локальне значення і може використовуватися лише для вирішення окремих проблем (наприклад, звільнення сільгоспвиробників від залежності в поставках дизпалива для забезпечення потреб розвитку сільськогосподарського виробництва).

Виходячи з проведеного аналізу, можна констатувати:

1. Ані біоетанол, ані біодизельне паливо не мають стратегічного значення для України в забезпеченні потреб у паливі для транспорту та не звільняють від необхідності імпортування нафтопродуктів.

2. Розвиток виробництв цих видів пального не зменшує, а збільшує залежність країни від зовнішніх поставок нафтопродуктів, оскільки енергетичні витрати на отримання цих видів палива перевищують їхню теплотворну здатність.

Слід зазначити, що аналіз здійснювався з суто енергетичних позицій без урахування цін і вартісних показників (які можуть бути будь-якими – правильними чи неправильними, ринковими чи ні, завищеними або заниженими, пільговими, дотаційними чи політично доцільними, а тому не відображатимуть реальних витрат на їх отримання). Фізичні дані аналізу можна змінити лише за наявності підстав для цього (нові дані щодо реальних витрат енергії, нові технології зі зменшеними витратами тощо), тож їх сутність є беззаперечною.

1. *Краткий справочник физико-химических величин.* – М.–Л.: Химия, 1965. – 160 с.

2. Семенов В.Г. *Дизельное топливо из рапса. – Хранение и переработка зерна, 2000.* – №12. – С. 59–61.

3. Семенов В.Г. *Цивилизация без нефти: биодизельное топливо в топливно-энергетическом комплексе Украины. – Интегрированные технологии та енергозбереження, 2007.* – №1. – С. 11–15.

4. Животков Л.О. та ін. *Ресурсозберігаюча і екологічно чиста технологія вирощування озимої пшениці.* – К.: Урожай, 1992. – 224 с.

5. Piringer G. Steinberg L.J. *Revaluation of energy use in wheat production in the United States – J. Ind. Ecol., 2006, 10, №2.* – P. 149–167.

6. Склада В., Догнал Л., Горак Л. и др. *Пивоваренный ячмень.* – М.: Сельхозгиз, 1961. – 415 с.

7. Борисоник З.Б. *Ячмень яровой.* – М.: Колос, 1974. – 255 с.

8. Циков В.В., Матюха Л.А. *Интенсивная технология возделывания кукурузы*. – М.: Агропромиздат, 1989. – 247 с.
9. Гаврилюк В.М. *Кукурудза у вашому господарстві*. – К.: Світ, 2001. – 232 с.
10. Чернявская Л.И. и др. *Сахарная свекла. Проблемы повышения технологических качеств и эффективности переработки*. – К.: Фитосоцицентр, 2003. – 308 с.
11. Пастух Ю.А. *Обґрунтування економічної ефективності технологій виробництва цукрових буряків в умовах центральної частини лісостепу України*. – Автореф. канд. екон. наук, Тернопіль: 2001. – 21 с.
12. Роїк М.В. та ін. *Технологія вирощування і збирання цукрових буряків з комбінованою шириною міжрядь*. – К.: Поліграфконсалтинг, 2006. – 63 с.
13. Маринченко В.Р. *Технологія спирту*. – К.: НУХТ, 2003. – 496 с.
14. Бутковский В.А., Птушкина Г.Е. *Технологическое оборудование мукомольного производства*. – М.: ГП журнал Хлебопродукты, 1999. – 208 с.
15. Хоменко Н.Д., Куценко Б.А. *Современные технологические схемы и оборудование свеклоперерабатывающего отделения сахарного завода*. – К.: ИПК Госагропрома УССР, 1988. – 48 с.
16. Бахмат М.І., Ігнат'єв М.О., Вітвицький І.А. *Технологія вирощування, заготівлі і переробки цукрових буряків*. – Кам.-Под.: Абетка – НОВА, 2003. – 296 с.
17. Циганков П.С., Циганков С.П. *Виділення спирту з бражки та його очистка*. – К.: Глобус, 2000. – 120 с.
18. *Methanol – autothermal reforming (ATR) – Hydrocarbon Process*, 2003. – 82. – №3. – P. 106.
19. Гайдаш В.Д. та ін. *Ріпак*. – Ів.-Фр.: Сіверсія, 1998. – 224 с.
20. Яковенко Т.М. *Олійні культури України*. – К.: Урожай, 2005. – 408 с.
21. Hill J., Nelson E., Tilman D et al. *Environmental economic and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels*. – Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 2006. – №30. – P. 11206–11210.
22. Hecht M.M. *Ethanol takes more energy than it gives*. – Execut. Intell. Rev., 2006. – 33. – №19. – P. 21.
23. *End the great 2006 bio-fuels swindle*. – Execut. Intell. Rev., 2006. – №22. – P. 4–6.