

А.І. СОКОЛЕНКО, д-р техн. наук,
В.С. КОСТЮК, канд. техн. наук,
К.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, канд. техн. наук,
А.А. ПАЛАШ
Національний університет харчових технологій

ЕНЕРГЕТИЧНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ В ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Наведена загальна оцінка енергетичних трансформацій, які мають місце в харчових технологіях. Вхідні сировинні потоки оцінюються результатом колообігу вуглецю і фотосинтезу різноманітної органіки, створенням носіїв хімічної енергії, представлена інформація щодо спроб використання гібридних конструкцій нанотехнологій. Оцінено перспективи енергетичних трансформацій і енергетичних накопичувачів на основі розчинених газів.

Ключові слова: трансформація, параметри, хімічна енергія, розчинність, сировинні потоки.

Вхідні сировинні потоки харчових виробництв оцінюються на рівні першоджерел хімічної енергії у формі різних органічних сполук. Завданням харчових технологій є відповідні трансформації і видозміни вказаних потоків з максимально можливим збереженням показників їх калорійності. Всі живі організми є споживачами речовин і енергії, а процес їх споживання має узагальнену назву — харчування. Звільнення хімічної енергії в організмі є еквівалентом дихання.

Енергетичні перетворення як при синтезі енергоносіїв органічного походження, так і при їх використанні відбуваються в рамках першого і другого законів термодинаміки. В харчових технологіях використовуються такі форми енергії, як хімічна, механічна, теплова, електрична, акустична, світлова, магнітна. Очевидно, що рівень використання вказаних форм є різним як за частотою, так і за енергетичним потенціалом. Так безпосередньо в харчових технологіях відносно мало задіяна світлова енергія. Однак з точки зору інтересів синтезу хімічної енергії вхідних сировинних потоків світлова енергія відіграє вирішальну роль. Саме завдяки їй фототрофні організми синтезують всі необхідні їм органічні речовини — носії хімічної енергії, використовуюваної для харчування хемотрофних організмів. При цьому хоча обрана в біологічному світі форма синтезу хімічної енергії сама по собі оцінюється суперважливим явищем планетарного масштабу, однак вона доповнюється важливою властивістю, яку в дещо специфічному узагальненні можливо віднести до ролі енергетичних накопичувачів. З цієї точки зору всі інші форми енергії кардинально поступаються хімічній. Завдання створення систем для накопичення енергетичних потенціалів завжди було в числі проблем, вирішення яких оцінюється суттєво важливим в різних площинах технічних і технологічних задач [1 — 4]. Очевидно, що з цієї точки зору увагу дослідників привертають природні цикли колообігу.

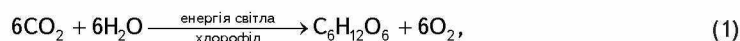
Біосфера Землі залежить від фотосинтезу безпосередньо або опосередковано, оскільки він трансформує енергію і вуглець у форми, доступні для живих організмів і забезпечує поставку в атмосферу кисню, необхідного для аеробних форм життя. Небалансу колообігу вуглецю на протязі свого існування людство має завдячувати, користуючись копалинами нафти, газу, вугілля тощо. За сучасними даними річна фіксація вуглецю (а не CO_2) за рахунок фотосинтезу складає $75 \cdot 10^{12}$ кг.

Вуглець, як хімічний елемент, є основою біологічного світу і його колообіг пов'язаний з енергетичними трансформаціями. У відповідності до нього світлова енергія перетворюється

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

в хімічну у процесі фотосинтезу, хімічна енергія використовується для синтезу органічних сполук з неорганічних компонентів. Органічні з'єднання є джерелом вуглецю і енергії для хемогетеротрофів: вуглець і енергія знову звільняються в процесі дихання. При цьому всяке перетворення супроводжується втратою енергії у формі теплової.

Звичайно процес фотосинтезу відображують рівнянням



яке сумарно відображує перебіг значної кількості перетворень. Повнота достовірної інформації про останні могла б допомогти у створенні алгоритму синтезу накопичувальних систем для різних форм енергії. У першу чергу це могло б стосуватися теплової енергії, яка знаходить найбільше використання.

У зв'язку з викладеним метою цього дослідження є аналіз сучасного стану технологій, пов'язаних з трансформаціями енергетичних потоків і можливостями створення енергонакопичувальних систем.

Відмічена особливість хімічної форми енергії, яка стосується її синтезу і можливості зберігання, в значній мірі пояснює увагу до таких процесів, створених природою.

Синтезовані органічні речовини є носіями хімічної енергії, яка в ланцюгу термодинамічних трансформацій має перейти в теплову для безпосереднього використання або для подальших перетворень.

Дія світла на речовини, що його поглинають, може завершуватися фотохімічними реакціями, до яких відноситься розкладання складних молекул, радикалів, багатоатомних іонів на їх складові частини, утворення складних молекул з простіших, а також утворення комплексів однакових молекул (полімеризація). За фотодисоціації одна з частинок переходить до збудженого стану і приймає на себе різницю між енергією поглинутого світла і енергією дисоціації. Фотодисоціація стає можливою за частоти світла ν , яка задовольняє умові:

$$\nu \geq \nu_0 = \frac{D}{h}, \quad (2)$$

де ν_0 — гранична частота дисоціації; D — енергія фотодисоціації, яка звичайно менша за енергію дисоціації основного стану системи; h — стала Планка.

У відповідності до закону еквівалентності Ейнштейна для здійснення кожного акту фотохімічного перетворення потребується один квант поглинутого світла. Кількість молекул, що прореагували, пов'язується з енергією поглинутих квантів. Число молекул N при цьому при поглинанні одиниці енергії світла:

$$N \sim \frac{1}{h\nu} = \frac{\lambda}{hc}, \quad (3)$$

де c — швидкість світла, а маса речовини, що прореагувала:

$$M = Nm, \quad (4)$$

де m — маса молекули; λ — довжина хвилі.

Названі та інші відомі закономірності вказують на доцільність продовження пошуків, які повинні привести до детермінованих результатів високого енергоекономічного рівня. Такі пошуки перенесено на рівень надій, пов'язаних з нанотехнологіями. В комп'ютерній мережі [1] з'явилася інформація про обнадійливий досвід щодо способу запасу сонячної енергії, розроблений в Массачусетському технологічному інституті (МТІ). В його основу покладено гібридні наноструктури світлочутливих молекул. При поглинанні фотона $h\nu$ такі молекули змінюють форму і переходять в метастабільний збуджений стан, запасаючи енергію ΔH , для звільнення якої необхідно подолати бар'єр E_a зовнішньою дією у формі теплового імпульсу, опромінення, напруги тощо. Після виведення вказаної ΔH процес повторюється.

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Подібна ідея ставилася до використання хіміками у 70-ті роки минулого століття в експериментах з різними реакціями фотоізомеризації (наприклад, перетвореннями: норборнадієн $\leftrightarrow$ квадрициклан і антрацен $\leftrightarrow$ діалтрацен). Досліди показали, що енергію дійсно можливо зберігати і вилучати, але після кількох циклів молекули втрачають властивість до перетворень. Хоча проблема збільшення числа циклів була вирішена застосуванням з'єднання (фульвален) тетракарбоніл дірутенія, однак практичне використання не було здійснене через високу вартість рутенія.

В дослідженнях спеціалістів МТІ використовувалися гібридні наноструктури, які утворювалися похідними азобензолу, ковалентно пов'язаними з вуглецевими нанотрубками.

Азобензол — органічна сполука, що містить групу $-N=N-$ з двома ізомерами, перехід між якими ініціюється ультрафіолетовими і голубими променями. При цьому нанотрубки відіграють роль підложки, яка задає упорядковане щільне застосування світлочутливих молекул, збільшує ΔH і час перебування системи в збудженому стані. В результаті запропоновано варіант гібридної наноструктури, побудованої на основі тригідроксидазобензолу. Порівняння цієї структури з вільним азобензолом показує збільшення ΔH на 260 %, а висота E_g повинна зрости на 20 %. Фотозбуджений стан такої системи може існувати більше року, а щільність енергії досягає 690 Вт·год./л, що близько до показників кращих літій-іонних акумуляторів.

До числа переваг у спробах реалізувати можливість трансформації сонячної енергії в хімічну є їх екологічне підґрунтя, що слід оцінювати однією з найважливіших перспектив енергозабезпечення.

Космічне і термодинамічне влаштування системи «Сонце — Земля» виглядає як таке, що дивує довершеною доцільністю. Воно забезпечує біжучу «енергетичну» хвилю протягом одної доби, яка перетинає всі меридіани і одночасно хвилю в широтному напрямку з сезонною частотою. Наявність цих особливостей лежить в основі існування біо- і ноосфери, однак свідоме людство продовжує спроби удосконалити систему у напрямку розсосередження вхідного енергетичного потоку на добу або на більший відрізок часу. Такі можливості вбачаються у створенні енергетичних накопичувачів незрівнянно менших масштабів порівняно з системою. При цьому досвід влаштування останньої і природи в цілому вказує на те, що енергетичний накопичувач має здійснюватися на основі матеріального носія. Очевидно, що матеріальний носій у своїй побудові повинен бути зорієнтованим на певну термодинамічну форму енергії. Загальний їх перелік наведено у таблиці, виключаючи ядерну [1], а можливі трансформації відображені на схемі (рис. 1).

Термодинамічні форми енергій

Форма енергії	Фактор інтенсивності (фактор потенціалу)	Фактор екстенсивності (фактор ємкості)
Механічна PV	Тиск	Об'єм
Електрична UI	Напруга	Струм
Теплова TS	Температура	Ентропія
Поверхнева σA	Поверхневий натяг	Площа поверхні
Хімічна μM	Хімічний потенціал	Маса

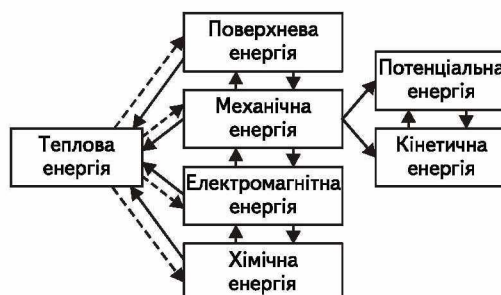


Рис. 1. Схема до можливих енергетичних перетворень:
повний (—) і частковий (---) переходи

Одне з формулювань другого закону термодинаміки стосується можливих переходів одних форм енергії в інші: *всю форму енергії може повністю переходити в тепло, але тепло переходить в інші форми лише частково*. Наприклад, за тим же другим законом термодинаміки перехід теплоти в роботу не може бути єдиним результатом термодинамічного процесу, тобто має існувати компенсаційний процес. Тепловий двигун, що працює за циклом Карно, виконує роботу, еквівалентну лише частині теплоти, а другу частину він віддає холодному джерелу.

До числа важливих чинників пристроїв відносяться питома запасена енергія, спосіб її наступного використання, швидкоплинність спрацювання енергетичного потенціалу, можливості взаємних трансформацій термодинамічних форм енергій. Остання наведена інформація стосується пошуку прикладних напрямків в їх реалізації і з цієї точки зору привертає увагу те, що стосується механічної потенціальної енергії розчинних газів.

Випадок вертикального апарата. На рис. 2 наведено розрахункову схему вертикального апарата з епюрою сталих насичення на CO_2 і вибраною системою координат $O-X-Y$. На вертикальній координаті OY оберемо елементарний прошарок товщиною dy , якому відповідає елементарний об'єм

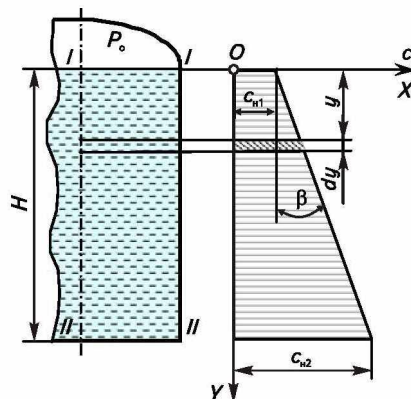


Рис. 2. Розрахункова схема до випадку вертикального апарата з епюрою сталих насичення на CO_2 c_n

$$dV = \frac{\pi d^2}{4} dy, \quad (5)$$

де стала насичення c_n , що відповідає вибраній вертикальній координаті, записана як її функція. Встановимо цю залежність. З рисунка 2 видно, що вона має форму

$$c_n(y) = c_{n1} + \operatorname{tg} \beta y, \quad (6)$$

де c_{n1} — стала насичення, що відповідає верхньому шару і $c_n = kP_o$.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{c_{n2} - c_{n1}}{H}, \quad (7)$$

де c_{n2} — стала насичення на CO_2 для нижнього шару.

Підстановкою значення $\operatorname{tg} \beta$ в умову (6) одержуємо

$$c_n(y) = c_{n1} + \frac{c_{n2} - c_{n1}}{H} y. \quad (8)$$

Тоді з врахуванням (5) запишемо

$$dM_{\text{CO}_2} = \frac{\pi d^2}{4} c_n(y) dy; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} M_{\text{CO}_2} &= \frac{\pi d^2}{4} \int_0^H \left(c_{n1} + \frac{c_{n2} - c_{n1}}{H} y \right) dy = \frac{\pi d^2}{4} \left(\int_0^H c_{n1} dy + \int_0^H \frac{c_{n2} - c_{n1}}{H} y dy \right) = \\ &= V c_{n1} + V \frac{c_{n2} - c_{n1}}{2}. \end{aligned} \quad (10)$$

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Оскільки сталі насичення є функціями тиску в системі, то приходимо до форми

$$M_{CO_2} = V \frac{k(P_0 + \rho g H)}{2}. \quad (11)$$

З наведених міркувань і одержаних залежностей витікає, що за рахунок гідростатичних тисків виникає повисотний градієнт за сталою насичення CO_2 . Визначимо це поняття як різницю максимальних розчинностей газу, віднесену до одиниці висоти шару рідинної фази. Наприклад, для середовища з температурою $10^\circ C$ і за висоти шару $H = 10$ м різниця розчинностей для нижнього і верхнього шарів складе:

$$\Delta c_n = 13,11 - 7,87 = 5,24 \text{ г/л.}$$

$$\text{Тоді значення градієнта складе: } \bar{c}_n^{gr} = \frac{\Delta c_n}{H} = \frac{5,24}{10} = 0,524 \frac{\text{г}}{\text{л} \cdot \text{м}}.$$

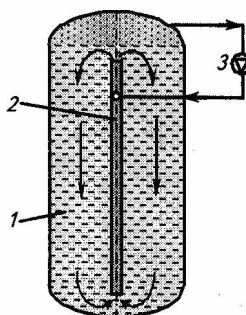


Рис. 3. Схема реконструкції акратофора з влаштуванням вертикального циркуляційного контуру: 1 — акратофор; 2 — циркуляційна труба; 3 — контур газової фази з міні-компресором

Наявність повисотної різниці у величині c_n означає різницю за показником осмотичного тиску і в нижніх шарах він буде вищим. Властивістю такого термодинамічного параметра є те, що сам по собі він не зникне, наприклад, за рахунок дифузійних процесів. Бо якби уявити малоімовірний факт флуктуацій або дифузійного перенесення CO_2 в зони з меншим гідростатичним тиском, то у відповідності до закону Генрі відбулося б десатурація середовища зі зменшенням осмотичних тисків.

Процеси вторинного бродіння потребують такої організації, за якої рівень гомогенізації середовищ був би максимальним. Наявність помітного повисотного градієнта розчиненого CO_2 вказує на можливість і доцільність його використання. У зв'язку з цим пропонується внести зміни у влаштування вертикальних акратофорів (рис. 3).

Верхня зона акратофора зайнята газовою фазою, об'єм якої складає біля 1 % від об'єму середовища. Підвищення тиску в ній пов'язано з динамікою синтезу діоксиду вуглецю і кількість CO_2 тут визначається залежністю

$$M_{CO_2} = \frac{P_0 V_{газ}}{RT}, \quad (12)$$

де P_0 — змінна величина тиску, Па; $V_{газ}$ — об'єм газової фази, m^3 ; $R = 188,9 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ — газова стала для CO_2 ; T — абсолютна температура газової фази, К.

Очевидно, що за вказаних умов зміни тиску відбуваються на повному від-різку часу бродіння. Тиск може змінюватися за рахунок таких параметрів, як температура та динаміка синтезу CO_2 . При цьому температура середовища за своєї зміни має подвійний і навіть потрійний вплив на систему. Розглянемо, наприклад, наслідки зростання температури в системі. Відгуком газової фази на це явище буде зростання тиску відповідно до залежності

$$P_0(t) = \frac{M_{CO_2} RT}{V_{газ}}. \quad (13)$$

Залежність розчинності CO_2 від температури є нелінійною функцією і має вид наближено представлений графіком на рис. 4.

Другим наслідком підвищення температури середовища буде зниження розчинності. Це означає, що має виділитися газова фаза у кількості ΔM_{CO_2} :

$$\Delta M_{\text{CO}_2} = (c_{n1} - c_{n2}) V_{\text{рід}} \quad (14)$$

Наслідком такого виділення буде додаткове підвищення тиску в газовій фазі і перехід системи до нового стану термодинамічної рівноваги. Відгуком системи на зміну температури буде зміна швидкості синтезу CO_2 мікроорганізмами і така зміна стосується повного об'єму акратофора. Технологія зброджування, як бачимо, з одного боку обмежена у швидкості пе-ребігу процесів за рахунок температури і фізико-хімічних параметрів середовищ. Проте з іншої сторони неізотропність середовища за величиною гідростатичних тисків і локальних відмінностей у складі і концентраціях компонентів виступають подразниками до пошуку умов, за яких подібні відмінності обмежуються. Однак гідростатична неізотропність є явищем, уникнути якого у виробничих умовах практично неможливо, зате можливо здійснити гомогенізацію середовища і опосередкований вплив на мікроорганізми за рахунок створення вертикального циркуляційного контуру за пропозицією з рис. 3. У відповідності до останньої пропонується встановити в апараті вертикальну циркуляційну трубу з вмонтованим у верхній її частині газорозподільним пристроєм, наприклад, у вигляді барботера. Останній входить до контуру, що складається з газового об'єму, трубопроводів і мінікомпресора, що знаходяться під відповідними тисками. За подавання мінікомпресором газової фази в газорозподільний пристрій у верхній частині циркуляційної труби утворюється газорідинна суміш і виникає різниця тисків в трубі на вході в неї і у зовнішньому середовищі. Ця різниця тисків є рушійним фактором, під дією якого починається висхідний потік у трубі. Оскільки забір висхідного потоку починається із зони найбільшого гідростатичного тиску, то це означає насиченість вхідного потоку до найбільших значень в апараті. Піднімання таких газонасичених об'ємів супроводжується падінням в них гідростатичних тисків, порушенням умови термодинамічної рівноваги і, нарешті, утворенням диспергованої газової фази. Присутність останньої означає включення процесу самоплинної циркуляції за рахунок потенціальної енергії газонасиченої системи. Це означає, що від цього моменту подавання газу мінікомпресором стає непотрібним, а циркуляційний контур надалі буде працювати в режимі автоналаштування.

Висновки. Виконаний аналіз першоджерел і власні дослідження в порівнянні особливостей енергетичних трансформацій дозволяють відмітити наступне. 1. Найбільш придатною щодо накопичення і зберігання є хімічна енергія органічних сполук, яка в різних комбінаціях хімічних елементів відображає потенціал харчування біосфери. 2. Енергетичні накопичувачі за певних умов можуть відігравати роль потужних концентраторів і перетворювачів останніх у механічні впливи на середовища. 3. Енергетичний потенціал розчинених газів у зв'язку з висотним концентраційним градієнтом придатний для механічного перемішування культуральних середовищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про енергозбереження і холодильні установки / Соколенко А.І., Бут С.А., Шевченко О.Ю. // Молочное дело. — 2006. — № 1. — С. 26 — 27.
2. Особливості тепло- і масообмінних процесів в термодинамічних циклах / Бут С.А., Костюк В.С., Васильківський К.В. // Харчова промисловість. — НУХТ, 2009. — № 8. — С. 64 — 67.
3. Соколенко А.І. Інтенсифікація масообмінних процесів в харчових і мікробіологічних технологіях. / Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А. — К.: Люксар, 2008. — 443 с.
4. Соколенко А.І. Транспортно-технологічні системи пивзаводів. / Соколенко А.І., Українець А.І., Піддубний В.А. — К.: АртЕк, 2002. — 304 с.

Дана общая оценка энергетических трансформаций, имеющих место в пищевых технологиях. Входящие сырьевые потоки оцениваются результатом круго-

ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ № 13, 2012 ————— 203

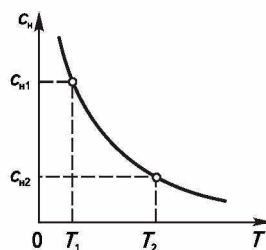


Рис. 4. Загальний вид графіка залежності $c_n = c_n(T)$

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

ворота углерода и фотосинтеза разнообразной органики, созданием носителей химической энергии, представлена информация о попытках использования гибридных конструкций нанотехнологий. Оценены перспективы энергетических трансформаций и энергетических накопителей на основе растворенных газов.

Ключевые слова: трансформация, параметры, химическая энергия, растворимость, сырьевые потоки.

A. Sokolenko, V. Kostiuik, K. Vasilkovsky, A. Palash

Energy transformation in food technologies

A general evaluation of the energy transformations that occur in food technology. Incoming raw material flows estimated result of the carbon cycle of photosynthesis and a variety of organics, the creation of chemical energy carriers, provides information about attempts to use hybrid structures of nanotechnology. The prospects of energy transformation and energy storage devices based on the dissolved gases.

The peculiarity of fermentation technology is the accumulation of potential energy due to the dissolution of carbon dioxide. This potential depends on the geometry of the apparatus, which is manifested in the magnitude of hydrostatic pressure and the physical pressure. The data relating to the process of secondary fermentation in the factories on the fermenters champagne.

Key words: transformation, parameters, chemical energy, solubility, commodity flows.

Одержана редколлегією 04.04.12 р.