

JAN SZARGUT, RYSZARD PETELA
Katedra Energetyki Ciepłej

SPRAWNOŚĆ EGZERGETYCZNA WEGETACJI ROŚLIN

Streszczenie. Zastosowano pojęcie egzergii do analizy zjawisk występujących przy wegetacji roślin. Omówiono bilans egzergetyczny procesu wegetacyjnego oraz sprawność egzergetyczną wegetacji roślin. Podano przykład obliczenia bilansu i sprawności egzergetycznej wegetacji drzewostanu.

1. Bilans egzergetyczny i sprawność egzergetyczna wegetacji roślin

Pojęcie egzergii można zastosować do oceny zjawisk energetycznych występujących przy wegetacji roślin. Najważniejszymi czynnikami w życiu rośliny są woda i światło [1], [3]. Egzergia doprowadzana do roślin składa się więc z egzergii B_s promieniowania słonecznego oraz z egzergii B_a opadów atmosferycznych. Przyrost egzergii roślin ΔB_r wynika z przyrostu ilości substancji roślin na rozważanym obszarze w danym okresie czasu. Bilans egzergetyczny rozważanego układu zamyka strata egzergii δB powstająca na skutek nieodwracalności procesu wegetacyjnego

$$B_s + B_a = \Delta B_r + \delta B \quad (1)$$

Na podstawie równania (1) można zdefiniować sprawność egzergetyczną η_{br} wegetacji roślin

$$\eta_{br} = \frac{\Delta B_r}{B_s + B_a} \quad (2)$$

Wartość B_a nie przekracza 1% wielkości B_g i można ją w rozważaniach przybliżonych pominąć. Stosunek sprawności egzergetycznej $\eta_{b r}$ do sprawności termicznej $\eta_{t r}$ wegetacji roślin można wówczas przedstawić wzorem:

$$\frac{\eta_{b r}}{\eta_{t r}} = \frac{b_{ch}}{b_A} \frac{h_A}{W_d} \quad (3)$$

gdzie:

h_A, b_A - jasność i egzergia jasności promieniowania słonecznego,

W_d, b_{ch} - wartość opałowa i egzergia chemiczna substancji rośliny.

Jak wynika z obliczeń [2], przy temperaturze otoczenia $T_0 = 300^\circ \text{K}$, stosunek $b_A/h_A = 0,9327$. Ponieważ stosunek b_{ch}/W_d jest dla organicznych substancji roślinnych większy od jedności, ze wzoru (3) wynika, że sprawność egzergetyczna $\eta_{b r}$ jest większa od sprawności termicznej $\eta_{t r}$ wegetacji roślin

$$\eta_{b r} > \eta_{t r} \quad (4)$$

Należy zaznaczyć, że przy rozpatrywaniu urządzeń przemysłowych sprawność egzergetyczna jest z reguły mniejsza od sprawności termicznej (cieplnej).

2. Składniki bilansu egzergetycznego wegetacji roślin

Przyjmując, że promieniowanie słoneczne można traktować jako niespolaryzowane i równomierne, egzergię b_A , takiego promieniowania wyrażoną w $\text{kJ}/(\text{m}^2 \text{sec})$ można wyrazić następująco [2]:

$$b_A = \left(\frac{\sigma_r T_0^4}{12\pi} + 2 \int_V \bar{K}_v dv - 2T_0 \int_V L_v dv \right) \iint_{\omega} \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi \quad (5)$$

gdzie:

- $a = 7,561 \cdot 10^{-19} \text{ kJ}/(\text{m}^3 \text{ grd}^4)$ – uniwersalna stała,
 $c_r = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$ – prędkość rozprzestrzeniania się promieniowania w próżni,
 T_0 – bezwzględna temperatura otoczenia,
 ν – częstość drgań, $1/\text{sec}$,
 K_ν – monochromatyczna jasność kierunkowa promieniowania prostoliniowo spolaryzowanego, zależna od częstości drgań, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \text{ srd})$,
 L_ν – entropia wielkości K_ν , zależna od częstości drgań, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \text{ grd srd})$,
 θ, φ – współrzędne kierunków zawartych w obrębie kąta przestrzennego ω ,
 ω – kąt przestrzenny, pod którym widać Słońce z Ziemi, srd .

Jeżeli przyjmie się, że wartości K_ν są stałe w przedziale częstości drgań $\Delta\nu$, przy wynikającej stąd stałej wartości L_ν w tym przedziale, wówczas występujące w równaniu (5) całki pojedyncze można zastąpić sumą odpowiednich iloczynów. Otrzymuje się więc wzór:

$$\dot{b}_A' = 2 \left(\frac{a c_r T_0^4}{24 \pi^2} + \sum K_\nu \Delta\nu - T_0 \sum L_\nu \Delta\nu \right) \iint_{\omega} \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\varphi \quad (6)$$

Opierając się na publikacji [2] można przyjąć, że wartość całki podwójnej występującej w równaniu (6) wynosi

$$\iint_{\omega} \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\varphi = 2,16 \cdot 10^{-5} \pi \quad (7)$$

natomiast wartości sum iloczynów są następujące:

$$\sum K_\nu \Delta\nu = 10079,3 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ srd sec}) \quad (8)$$

$$\sum L_\nu \Delta\nu = 2,2633 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ grd srd sec}) \quad (9)$$

Jasność promieniowania słonecznego \dot{h}_A , można obliczyć ze wzoru

$$\dot{h}_A = 2 \left(\sum K_v \Delta v \right) \int_{\omega} \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\varphi \quad (10)$$

Uwzględniając wartości (7) i (8) otrzymuje się ze wzoru (10) wartość $\dot{h}_A = 1,3707 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ sec})$.

Dla obliczenia egzergii chemicznej b_{ch} w $\text{kJ}/(\text{kg pal.wilg.})$ dla drewna lub torfu tzn. dla paliw stałych zawierających dużo tlenu (o/o > 0,667) należy stosować metodę obliczeń podaną w publikacji [4]. Można bez wielkiego błędu przyjąć, że udział gramowy siarki $s \approx 0$ wówczas podany w publikacji [4] wzór wyrażający normalną egzergię chemiczną może zarazem służyć do obliczenia egzergii chemicznej przy dowolnej temperaturze otoczenia

$$b_{ch} = (W_d + r w) \frac{1,0438 + 0,1882 \frac{h}{o} - 0,2509 \frac{o}{o} (1 + 0,7256 \frac{h}{o}) + 0,0383 \frac{n}{o}}{1 - 0,3035 \frac{o}{o}} \quad (11)$$

gdzie:

- W_d - wartość opałowa w temperaturze otoczenia,
- r - entalpia parowania wody przy temperaturze otoczenia,
- w - udział gramowy wilgoci w paliwie.

Dla obliczenia egzergii opadów atmosferycznych B_a można posłużyć się wzorem

$$B_a = b_a G_a \quad (12)$$

gdzie:

- b_a - egzergia właściwa opadów atmosferycznych,
- G_a - ilość opadu atmosferycznego.

3. Przykład bilansu egzergetycznego drzewostanu

Dla przykładu można rozpatrzyć bilans egzergetyczny drzewostanu na obszarze 1 hektara w okresie 1 roku.

Przy temperaturze otoczenia $t_o = 8^\circ\text{C}$ strzymuje się ze wzoru (6) po uwzględnieniu wartości (7), (8) i (9) wartość $b_A = 1,2815 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ sec})$. Dla obliczenia wielkości B_s przyjęto, że średnia roczna wartość egzergii promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ziemi stanowi 10% egzergii promieniowania słonecznego (padającego na płaszczyznę prostopadłą do kierunku promieniowania) docierającego do najwyższych warstw atmosfery. Otrzymuje się więc

$$B_s = 0,1 \cdot 1,2815 \cdot 8760 \cdot 3600 \cdot 10^4 = 40\,413 \cdot 10^6 \text{ kJ}/(\text{ha rok})$$

Dla obliczenia wielkości B_a przyjęto, że roczna warstwa opadów atmosferycznych wynosi 0,7 m/rok oraz że opadem jest woda o temperaturze otoczenia. Egzergia właściwa tej wody przy ciśnieniu otoczenia i wilgotności względnej powietrza otoczenia 91%, ma wartość 10,55 kJ/kg. Na podstawie wzoru (12) otrzymuje się:

$$B_a = 10,55 \cdot 0,7 \cdot 10^7 = 74 \cdot 10^6 \text{ kJ}/(\text{ha rok})$$

W rozważanym przykładzie stosunek $B_a/B_s = 0,00183$.

Dla obliczenia wielkości ΔB_r przyjęto, że w bilansowanym układzie powstaje 3 m³/(ha rok) drewna o gęstości 450 kg/m³, wilgotności 50% oraz o następującym składzie chemicznym części organicznej: c = 50%, h = 6%, o = 43%, n = 0,08% (udziały gramowe). Wartość opałowa drewna wynosi więc $W_d = 7\,635 \text{ kJ}/(\text{kg pal.wilg.})$.

Na podstawie wzoru (11) można określić stosunek egzergii do wartości opałowej drewna $b_{ch}/W_d = 1,31$. Wielkość ΔB_r można więc obliczyć następująco:

$$\Delta B_r = 3 \cdot 450 \cdot 1,31 \cdot 7\,635 = 13,5 \cdot 10^6 \text{ kJ}/(\text{ha rok}).$$

Sprawność egzergetyczna wegetacji drzewostanu w rozważanym przykładzie ma na podstawie wzoru (2) wartość:

$$\eta_{br} = \frac{13,5}{40\,413 + 74} = 0,033\%$$

Stosunek b_A/h_A w rozważanym przykładzie wynosi

$$\frac{b_A}{h_A} = \frac{1,2815}{1,3678} = 0,9369$$

Ze wzoru (3) wynika wartość stosunku sprawności

$$\frac{\eta_{b_A}}{\eta_{t_r}} = \frac{1,31}{0,9369} = 1,40$$

Widać więc, że w rozważanym przykładzie sprawność egzergetyczna wegetacji drzewostanu jest około 40% większa od sprawności termicznej. Powyższy stosunek sprawności dla różnych substancji zmienia się w niewielkich granicach, ponieważ stosunki b_{oh}/W_d i b_A/h_A zmieniają się nieznacznie.

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 4 lipca 1964 r.

LITERATURA

- [1] Handbuch der Pflanzenphysiologie, Bd.V, Die CO₂ - Assimilation, Teil 2, praca zbiorowa, red. A.Pirson, Springer-Verlag 1960.
- [2] Petela R.: Egzergia jasności promieniowania, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 58, Energetyka z. 9, (1962) str. 43/71.
- [3] Strebeyko P.: Woda i światło w życiu rośliny, PWN, Warszawa 1956.
- [4] Szargut J.; Styrylska T.: Angenäherte Bestimmung der Exergie von Brennstoffen, BWK 16 (1964) nr 12, str. 591/96.

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ К.П.Д. ВЕГЕТАЦИИ РАСТЕНИЙ

Р е з ю м е

Авторы применяют понятие эксергетического к.п.д. к анализу энергетических явлений, наступающих при вегетации растений. Рассмотрен эксергетический баланс процесса вегетации и его составляющие: эксергия солнечного излучения, эксергия атмосферных осадков и эксергия растительного материала. Дан пример расчета эксергетического баланса и эксергетического к.п.д. вегетации деревьев.

THE EXERGY EFFICIENCY OF PLANT VEGETATION

S u m m a r y

The conception of exergy for analysis of plant vegetation phenomenon has been used. The exergy balance of vegetation process and exergy efficiency of plant vegetation has been discussed. The paper includes the exemplary calculation of the balance and exergy efficiency of wood vegetation.