

# Analiza ekonomiczna w zagadnieniach ochrony środowiska

*Aleksander Szkarowski  
Politechnika Koszalińska*

## 1. Wstęp

Efektywne zarządzanie każdym przedsięwzięciem przewiduje optymalne adresowe wykorzystanie inwestycji z maksymalnie osiągalnym wynikiem. W przypadku działalności z zakresu ochrony środowiska chodzi o maksymalnym efekcie uzdrowienia powietrza, wód lub gleby w skali terenu rolniczego czy krajobrazowego, obszaru zabudowanego, rejonu lub całego miasta.

Podstawy opracowanej przez autora analizy energo-ekologicznej dają możliwość w bardzo wiarygodny sposób ustalić priorytetowe substancje szkodliwe, źródła ich emisji oraz tereny najbardziej stosowne do skierowania na nie inwestycji na cele wdrażania technologii ochrony środowiska [1, 2]. Dalszy sukces projektu zapewnia się dokładnością o dogłębną techniczno-ekonomicznego etapu analizy. Opracowane dotychczas kryteria i wskaźniki ekonomicznej efektywności technologii ochrony środowiska i oszczędzania zasobów naturalnych pozwalają, przy zastosowaniu zasad wspomnianej wyżej analizy energo-ekologicznej, przystąpić do kształtowania uniwersalnych podstaw określania tej efektywności.

Chociaż autor zajmuje się głównie zagadnieniami ochrony atmosfery, wyprowadzone z wyników wieloletnich badań wnioski i opracowane metody obliczeń są uniwersalne dla całej gamy zagadnień z zakresu ochrony środowiska.

## 2. Mechanizm kształtowania uszczerbku ekologicznego

Przykry szczegół uszczerbku ekologicznego polega na tym, iż szkoda wyrządzona biosferze oddzielnym podmiotem gospodarczym na lokalnym poziomie monitoringu ma bardzo szerokie i rozciągnięte w czasie i przestrzeni pasmo dalszego destruktywnego oddziaływania (zdrowie człowieka i zwierząt, powietrze, woda, gleba, las, konstrukcje budowlane itp.).

We współczesnych warunkach realne wyniki w zapobieganiu negatywnemu wpływowi na środowisko osiągnięte mogą być tylko przy państwowej zcentralizowanej koordynacji tej działalności. Końcowy sukces potrzebuje doskonalenia prawa i bazy normatywnej, dokonania ogólnokrajowych programów ekologicznych, kształcenia specjalistów o odpowiednim kierunku itd. Przekonywującym przykładem jest norma państwowego finansowania ochrony środowiska w krajach Unii Europejskiej (do 3% budżetu) i skuteczne rozwiązanie bardzo trudnych, pod względem organizacyjnym, programów usunięcia z użytkowania kancerogenego azbestu i zawierających chlor czynników chłodniczych powodujących destrukcję warstwy ozonowej.

Unikając nadmiernego drobienia, można w ogólnej strukturze uszczerbku ekonomicznego powstającego na skutek zanieczyszczenia środowiska wymienić cztery podstawowe składniki:

- uszczerbek powstający w wyniku wpływu na zdrowie człowieka;
- uszczerbek wyrządzony obiektom mieszkaniowo-komunalnym (teren zamieszkania, budynki, transport miejski, zielenie itp.);
- szkody wobec podstawowych elementów w sferze produkcji materialnej (przemysł, transport, wydobywanie surowców);
- uszczerbek rolnictwu, gospodarce leśnej, zasobom rybnym i zwierzęcym, oraz możliwościom rekreacyjnym terenu zamieszkania i odpoczynku ludzi.

Typową w skali całego kraju strukturę uszczerbku ekonomicznego w wyniku zanieczyszczenia powietrza podano w tabeli 1 [3].

Jednak na lokalnym poziomie analiza struktura uszczerbku może bardzo się różnić, zwłaszcza dla dużych miast przemysłowych (tabela 2).

Tradycyjnie wymienia się trzy grupy czynników wyznaczających wartość ekologicznych szkód: czynniki percepcji, wpływu i stanu. Wspomniane wyżej obiekty negatywnego oddziaływania stanowią czynniki **percepcji**. Źródła emisji substancji szkodliwych, ich charakterystyki techniczne, ilość i skład odpadów stanowią grupę czynników **wpływu**. Grupa czynników **stanu** składa się z wskaźników ekonomicznych wyznaczających przeliczenie ekologicznych, zdrowotnych, socjalnych i innych naturalnych szkód i zmian do wartości ekonomicznych (wydajność pracy, wypłaty ze zwolnień lekarskich, średnia produktywność rolnictwa itp.).

Przy tym zazwyczaj w literaturze specjalistycznej deklaruje się tylko nierozzerwalne powiązanie między tymi grupami czynników. Zasady analizy energo-ekologicznej pozwoliły autorowi, nie naruszając tradycyjnej struktury, uzupełnić ją przez kluczową grupę czynników, określonych jako czynniki **wzajemnego oddziaływania**. Te czynniki wyznaczają energo-ekologiczną doskonałość technologii ochrony środowiska, technologiczny poziom przemysłu, pobudzające (lub odwrotnie – hamujące) działanie prawa w zakresie ochrony zdrowia i środowiska naturalnego, poziom wykształcenia ludności, bodźce ekonomiczne działań na rzecz ekologii itp.

**Tabela 1.** Struktura uszczerbku ekonomicznego w wyniku zanieczyszczenia atmosfery dla USA i Federacji Rosyjskiej (%)

**Table 1.** Structure of economic damage as a result of atmosphere pollution for USA and Russian Federation (%)

Obiekty oddziaływania	USA	Rosja
Zdrowie ludności	37,9	36,0
Sektor mieszkaniowo-komunalny	31,7	32,0
Rolnictwo	0,6	12,0
Przemysł, transport	29,8	13,0
Inne	–	7,0
RAZEM	100,0	100,0

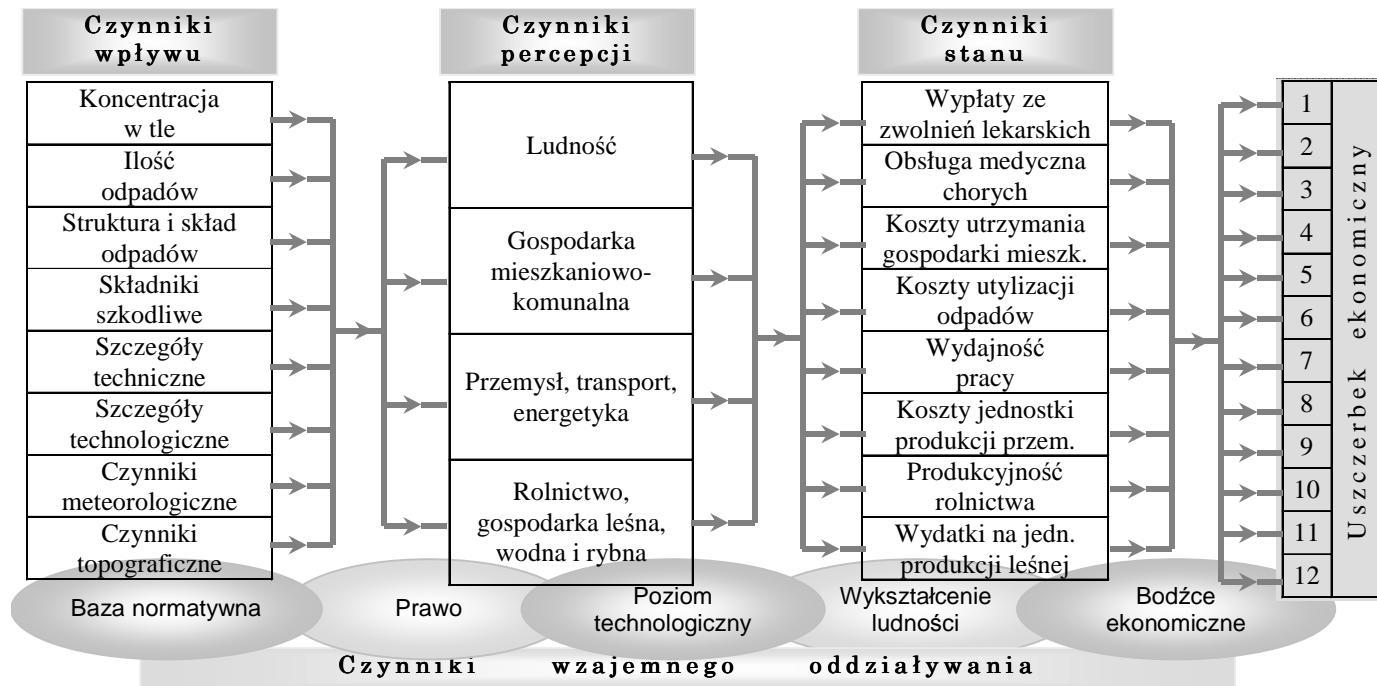
**Tabela 2.** Struktura uszczerbku od zanieczyszczenia atmosfery w okolicach miasta przemysłowego

**Table 2.** Structure of damage as a result of atmosphere pollution in vicinities of industrial city

Obiekty oddziaływania	Uszczerbek	
	tys. \$	%
Zdrowie ludzi	13403	70,0
Rolnictwo	2455	12,2
Gospodarka leśna	270	1,4
Sektor komunalny	2784	13,9
Urządzenia techniczne	50	0,3
Surowce, produkcja	1044	5,2
RAZEM	20006	100,0

Dopracowany w ten sposób schemat mechanizmu kształtowana uszczerbku ekonomicznego w wyniku zanieczyszczenia środowiska (rysunek 1 [1]) przewiduje, że zmniejszenie destruktywnego oddziaływania na naturę i człowieka osiąga się nie tylko przez bezpośrednie obniżenie emisji szkodliwych substancji w grupie czynników wpływu. Przez czynniki wzajemnego oddziaływania do tego procesu aktywnie się włączają same czynniki percepcji (poziom technologii unieszkodliwiania i utylizacji, ekologiczne wykształcenie ludzi w życiu prywatnym i w zakładzie pracy itp.), jak również czynniki stanu (prawo i baza normatywna, ekonomiczne bodźce do wydatków na ekologię itp.). Powyższe przesłanki dają możliwość przystąpić do formułowania zasad określania ekonomicznych ekwiwalentów szkód naturalnych wyrządzanych różnym elementom środowiska.





**Rys. 1.** Mechanizm powstawania uszczerbku ekonomicznego w wyniku zanieczyszczenia środowiska

**Fig. 1.** The mechanism of formation of economic damage as a result of environmental pollution

Ekonomiczne ekwiwalenty szkód naturalnych: 1 - opłata zwolnień lekarskich; 2 - medyczna obsługa ludności spowodowana zanieczyszczeniem środowiska; 3 - wartość produkcji nie wyprodukowanej na skutek zachorowań; 4 - dodatkowe wydatki na utrzymanie budynków mieszkalnych; 5 - dodatkowe wydatki w gospodarce komunalnej; 6 - dodatkowe leki, usługi i towary trwałego użytku; 7 - dodatkowe wydatki na naprawę i odnawianie podstawowych środków produkcyjnych; 8 - straty na skutek płynności kadr; 9 - bezpośrednie i pośrednie straty surowców i paliwa; 10 - straty w hodowli roślin, 11 - straty w hodowli zwierząt; 12 - straty produkcji i dodatkowe wydatki w gospodarce leśnej, wodnej i rybnej



### 3. Ekonomiczne ekwiwalenty szkód naturalnych

#### 3.1. Uszczerbek od podwyższonej liczby zachorowań ludności

Wartość uszczerbku spowodowanego wzrostem zapadalności ludzi na choroby od zanieczyszczenia atmosfery sięga 50% jego całkowitej wartości i może 10÷12 razy przekraczać podobny wskaźnik od zanieczyszczenia wody (np. dla USA to wynosi odpowiednio 12,5 i 1,0 miliardów dolarów [4]). Systemowe badania amerykańskie w tej dziedzinie powiązują 140 tys. śmierci (około 9%) właśnie z zanieczyszczeniem powietrza.

Należy przy tym zauważyć, iż udział ogólnej zapadalności na choroby odnoszony do zanieczyszczenia środowiska naturalnego szacuje się obecnie na 5÷20% [5].

Tylko straty o charakterze produkcyjnym i wydatki na dodatkową medyczną obsługę ludności wynosiły w USA 1,6 miliardów dolarów rocznie. Według O.F.Bałackiego [3] zależność między liczbą zachorowań narządów oddychania (na 1000 osób) i średniorocznymi koncentracjami najbardziej rozpowszechnionych szkodliwych substancji w powietrzu może być przedstawiona w postaci:

$$Z_{n.od.} = 162 + 22,4x_1 + 22,9x_2 + 102,4x_3 + 144x_4, \quad (1)$$

gdzie:

$x_1 \div x_4$  – średnioroczne koncentracje, odpowiednio, pyłu nietoksycznego, tlenku węgla, dwutlenku siarki i tlenków azotu ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

Jednostkowe wskaźniki bezpośredniego ekonomicznego uszczerbku od wzrostu liczby zachorowań otrzymano w licznych badaniach. Niektórą niezgodność między ich wynikami spowodowanymi pochodzeniem z różnych krajów można uogólnić w następujący sposób [1]. Ekonomiczny ekwiwalent uszczerbku naturalnego od zanieczyszczenia atmosfery na rozpatrywanym terenie można określić jako:

$$U_z = N \sum_i u_i, \quad (2)$$

gdzie:

$N$  – liczba ludności (os.);

$u_i$  – jednostkowy uszczerbek wywołany  $i$ -tą substancją (dol./(rok·os.)).

Wartości jednostkowych wskaźników mogą bardzo się różnić dla różnych krajów, a nawet regionów tego samego kraju. Obróbka wyników dużej ilości badań pozwala autorowi (przy braku bardziej wiarygodnych dla danego terenu danych) zaproponować następujący orientacyjny sposób określania wartości wskaźników  $u_i$  (dol./(rok·os.)) dla pyłu nietoksycznego, dwutlenku siarki i tlenków azotu w zależności od ich średniorocznego stężenia w powietrzu  $x_i$ :

– dla pyłu nietoksycznego w przedziale stężenia  $0,3 \div 1,5 \text{ mg/m}^3$ :

$$u_i = -2,07 + 32,15x_i - 19,69x_i^2 + 4,08x_i^3; \quad (3)$$

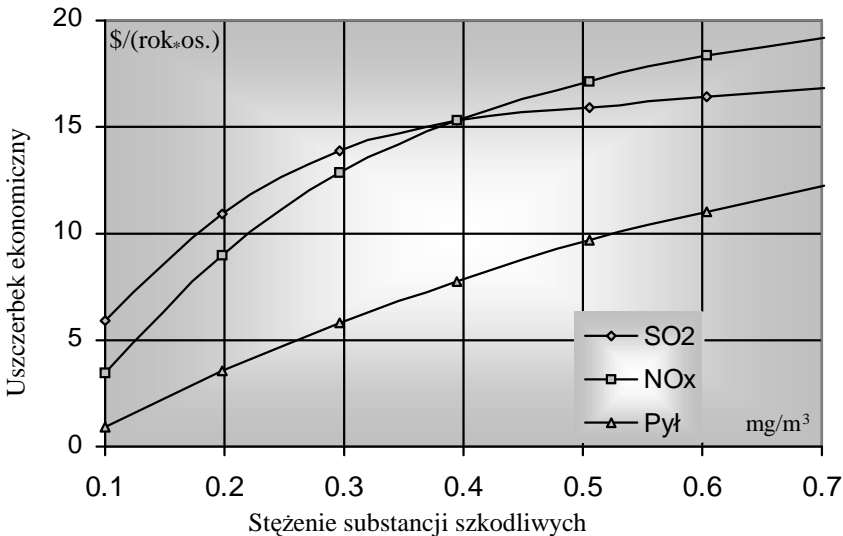
– dla dwutlenku siarki w przedziale stężenia  $0,1 \div 0,7 \text{ mg/m}^3$ :

$$u_i = -1,82 + 93,24x_i - 166,62x_i^2 + 102,12x_i^3; \quad (4)$$

– dla tlenków azotu w przedziale stężenia  $0,1 \div 0,8 \text{ mg/m}^3$ :

$$u_i = -4,43 + 90,99x_i - 131,58x_i^2 + 71,13x_i^3 \quad (5)$$

W postaci graficznej powyższe zależności ilustruje rysunek 2.



**Rys. 2.** Jednostkowy uszczerbek od wzrostu liczby zachorowań, spowodowanego zanieczyszczeniem atmosfery (dol./((rok·os.))

**Fig. 2.** Unit damage from the morbidity increase caused by atmosphere pollution, \$ per (year-person)



### 3.2. Straty w rolnictwie i gospodarce leśnej

Dodatkowe wydatki na uzupełnienie produkcji straconej w rolnictwie od zanieczyszczenia środowiska można określić z wyrazu [3]:

$$U_r = \sum_i (K_i^z - K_i^o) P_i^o \cdot S_i^o - \sum_i (K_i^z - K_i) P_i \cdot S_i, \quad (6)$$

gdzie:

- $K_i^z$  – koszty zamykające na jednostkę  $i$ -go produktu rolnictwa (zł/kg),
- $K_i^o$  i  $K_i$  – zredukowane koszty na jednostkę  $i$ -go produktu rolnictwa, odpowiednio na terenie kontrolnym i zanieczyszczonym (zł/kg),
- $S_i^o$  i  $S_i$  – optymalne wartości obszarów zasiewów pod  $i$ -tą uprawę, odpowiednio na terenie kontrolnym i zanieczyszczonym (ha), wyznaczone w wyniku rozwiązywania optymalizacyjnego zagadnienia według kryterium maksymalizowania rentowności różniczkowej,
- $P_i^o$  i  $P_i$  – urodzajność  $i$ -tej uprawy w typowym gospodarstwie, odpowiednio na terenie kontrolnym i zanieczyszczonym (kg/ha).

Ta metoda może być skutecznie wykorzystana przy realizowaniu państwowych programów ekologicznych na dużych obszarach gospodarczych.

Jeszcze większy zasięg ma metoda do określania uszczerbku na wielce obszerne tereny (aż do obszarów kontynentalnych) [6]. Cały teren dzieli się na  $n$  części o powierzchni  $S_i$ , tak, żeby na pierwszym polu stężenie substancji szkodliwej w wyniku emisji nie przekraczało tła, czyli produkcja rolnictwa na tej części obszaru nie ulega żadnym zmianom. Na pozostałych częściach produktywność się zmienia i ocenia się według opracowanego modelu fizjologicznego. Przyrost uprawy na  $i$ -tej powierzchni oznacza się przez  $\Theta_i$ , a jej wartość przez  $c_i$ . Metoda opiera się o przypuszczenie, iż cały urodzaj stanowi czysty produkt ekosystemów sztucznych i naturalnych, których biomasa pozostaje stałą. Oznaczając całkowitą wartość produkcji rolniczej przez  $c$ , otrzymamy układ z  $n$  równań z niewiadomymi  $c_i, \dots, c_1, \dots, c_n$ :

$$\begin{cases} \frac{\Theta_i}{\Theta_1} = \frac{c_i S_1}{c_1 S_i}; i = 2, \dots, n \\ \sum_i c_i = c \end{cases} \quad (7)$$

Rozwiązanie układu to:

$$c_i = \frac{c \Theta_i S_i}{\sum_i \Theta_i S_i}; i = 1, \dots, n \quad (8)$$

Teraz można stwierdzić, że uszczerbek wyrządzony rolnictwu na powierzchni  $S_i$  jest różnicą między wartością otrzymanej produkcji a wartością produkcji, która mogłaby być na niej otrzymana, gdyby koncentracja szkodliwej substancji nie przekraczała tła, a przyrost uprawy był by równy  $\Theta_1$ , czyli:

$$U_{ri} = \left( \frac{c_1}{S_1} - \frac{c_i}{S_i} \right) S_i, \quad (9)$$

a uszczerbek dla całego rozpatrywanego terenu wyniesie:

$$U_r = \sum_i U_{ri} = \frac{c_1}{S_1} \sum_i S_i \left( 1 - \frac{\Theta_i}{\Theta_1} \right) \quad (10)$$

Dokładne określenie uczestniczących w układzie (7) parametrów wymaga specjalnych badań i żmudnej pracy, jednak ta właśnie metoda pozwoliła uzyskać uznaną na międzynarodowym szczeblu ocenę szkód w rolnictwie i gospodarce leśnej Europy, wywołanych emisją dwutlenku siarki.

### 3.3. Uszczerbek w przemyśle

Do tej kategorii zalicza się uszczerbek od wzrostu wydatków na remont, odnawianie i utrzymanie podstawowych środków produkcyjnych, przedwczesnej amortyzacji maszyn oraz nie wyprodukowanej produkcji (na skutek nieplanowanego przestoju urządzeń produkcyjnych). Dodatkowe wydatki na bieżącą naprawę urządzeń i maszyn w przemyśle można oszacować jako część ich ogólnej wartości (w %) według wzoru [7]:

$$U_{u.p.} = 1,704 + 0,0324x_1 + 0,096x_2 + 0,807x_3 + 0,116x_4 \quad (11)$$

gdzie:

$x_1 \div x_4$  – średnioroczne koncentracje, odpowiednio, pyłu, tlenku węgla, dwutlenku siarki i amoniaku ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

### 3.4. Straty ekonomiczne w gospodarce mieszkaniowo-komunalnej

Straty w tym obszernym sektorze łączą:

- wydatki na dodatkowe sprzątanie terenu miasta od pyłu,
- dodatkowe wydatki w sferze transportu miejskiego,
- dodatkowe nakłady na remont budynków i innych elementów zabudowy miasta,
- zwiększenie wartości usług mieszkańcom spowodowane zanieczyszczeniem środowiska,
- uszczerbek wyrządzony zieleniom.

Trudne jest wyprowadzić uniwersalne wzory na tak zróżnicowane, nawet w bliskich miastach, kategorie. Na przykład emisja tlenków siarki, siarkowodoru, amoniaku i pyłu zmniejsza średnio o 5% trwałość ubrań i powoduje dodatkowe wydatki na ich pranie, zanieczyszczenie okien zwiększa wydatki na energię elektryczną w celu oświetlenia itp.

Dla miasta europejskiego o wielkości Koszalina (około 110÷120 tys. mieszkańców) autorska symulacja dodatkowych wydatków tylko od zanieczyszczenia powietrza i tylko obiektom gospodarki mieszkaniowo-komunalnej opiewa na ponad 3,5 miliona dolarów rocznie, w tym 35% – wydatki dodatkowe na eksploatację budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej, 18% – zwiększenie działań z zakresu usług bytowych, 14% – odnawianie zieleni, 15% – dodatkowe sprzątanie terenu, 10% – zwiększenie zużycia wody. Niektóre z tych składowych nawet sprzyjają rozwojowi gospodarki (jak, na przykład, wartość usług bytowych), co nie mniej nie usprawiedliwia wzrastającego zanieczyszczenia środowiska miejskiego.

## 4. Metody kompleksowej oceny uszczerbku ekologicznego

### 4.1. Model dwuwymiarowy

Rozpatrywany teren wpływu **danego źródła emisji** dzieli się na  $m$  stref o umownie stałych średniorocznych stężeniach substancji szkodliwych. Przy tym uwzględnia się  $n$  tych substancji w każdej strefie [8]. Uszczerbek całkowity (zł/rok) według tej metody wynosi:

$$U_r = \sum_i M_i \sum_j \tilde{U}_{ij} \cdot R_{ij}, \quad (12)$$

gdzie:

$\tilde{U}_{ij}$  – jednostkowy uszczerbek od  $i$ -tej substancji szkodliwej w  $j$ -tej strefie wyrządzony wobec obliczeniowej jednostki czynnika percepcji z każdego rodzaju szkód (zł na 1000 t substancji rocznie);

$R_{ij}$  – ilość obliczeniowych jednostek czynników percepcji w  $j$ -tej strefie zanieczyszczenia (na przykład: 1000 osób – dla uszczerbków od pogorszenia stanu zdrowia ludności i szkód wobec gospodarki mieszkaniowo-komunalnej; 1 ha powierzchni rolniczych i leśnych, 1 milion dolarów podstawowych środków produkcyjnych itp.)

$M_i$  – całkowita emisja  $i$ -tej substancji szkodliwej (tys. t).

#### 4.2. Model trójwymiarowy

Ta metoda pozwala oszacować uszczerbek wyrządzony **zespołem źródeł zanieczyszczenia** [1]. Wartość uszczerbku (zł) określa się ze wzoru:

$$U = \sum_z \sum_j \sum_i \tilde{U}_{zij} \cdot A_{ji}, \quad (13)$$

w którym:

$\tilde{U}_{zij}$  – jednostkowy wskaźnik  $i$ -go rodzaju szkód, odpowiadający stężeniu  $z$ -tej substancji w  $j$ -tej strefie stałych koncentracji (zł/jedn.);

$A_{ji}$  – ilość jednostek  $i$ -go czynnika percepcji w  $j$ -tej strefie (jedn.).

Praca nad sprecyzowaniem poszczególnych wskaźników szkód ekologicznych dla poszczególnych substancji wciąż trwa. Jako wartości orientacyjne można przywieść następujące dane (dol./t):

- dla pyłu – 55÷80,
- dla dwutlenku siarki – 60÷90,
- dla tlenku węgla – 30÷45,
- dla tlenków azotu – 90÷135,
- dla węglowodorów ropy naftowej – 80÷120.

## 5. Metody oceny efektywności technologii ochrony środowiska

Można wymienić dwa główne podejścia do ekonomicznego porównywania technologii ochrony środowiska i technologii bezodpadowych: metodę kosztów zredukowanych i metodę „wynikową”.

### 5.1. Metoda kosztów zredukowanych

Ta tradycyjna dla dowolnej inwestycji metoda polega na ustaleniu minimum rocznych kosztów zredukowanych. Porównanie wariantów technologii w tym przypadku wykonuje się w następujący sposób:

$$\Delta Z = (K_2 + E_n I_2 + U_2) - (K_1 + E_n I_1 + U_1), \quad (14)$$

gdzie:

- $K_1$  i  $K_2$  – koszty eksploatacyjne dla odpowiedniego wariantu;
- $E_n$  – współczynnik efektywności inwestycji (stopa zwrotu);
- $I_1$  i  $I_2$  – koszty inwestycyjne dla porównywanych wariantów;
- $U_1$  i  $U_2$  – wartość resztkowego uszczerbku ekologicznego po wdrożeniu technologii.

### 5.2. Metoda „wynikowa”

W tej metodzie realizuje się typowo państwowe podejście, które, zdaniem autora, jest konieczne dla skutecznego skoordynowania działalności z zakresu ochrony środowiska. Efekt ekonomiczny zastosowania danej technologii pojmuje się jako różnica między całkowitym gospodarczym ekonomicznym wynikiem jej wdrożenia ( $E$ ) a kosztami ( $K$ ), które spowodowały ten wynik:

$$\Delta Z = E - K \quad (15)$$

$Z$  kolei wynik ekonomiczny wdrożenia technologii (schematu, projektu, programu itp.) określa się w następujący sposób:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + \Delta U + E_e, \quad (16)$$

gdzie:

- $E_1$  – efekt wykorzystania produkcji, odzyskanej poprzez kompleksową przeróbkę surowców i utylizację odpadów,
- $E_2$  – oszczędności producentów na wydatkach związanych z potrzebą przechowywania i neutralizacji odpadów,

- $E_3$  – zaoszczędzone wydatki związane z wydobywaniem (zakupem) surowców zastąpionych utylizowanymi odpadami,
- $E_4$  – oszczędzanie wydatków na uzupełnienie zasobów odnawialnych (poszukiwania geologiczne i prace projektowo-poszukiwawcze),
- $E_5$  – efekt handlu zagranicznego,
- $E_6$  – efekt kompleksowego rozwoju zrównoważonego obszaru gospodarczego i racjonalnego umieszczenia na nim środków produkcyjnych,
- $\Delta U$  – zażegnany uszczerbek ekologiczny w wyniku zastosowania technologii ochrony środowiska,
- $E_e$  – zmiana całkowitego zużycia energii po wdrożeniu technologii ochrony środowiska (ten wskaźnik może być ujemny, ponieważ każda taka technologia jest energochłonna i nie zawsze samowystarczalna).

Możliwe są różne sposoby porównania efektywności kilku wariantów technologii ochrony środowiska (technologii bezodpadowych). Przy znacznej różnicy w kosztach inwestycyjnych  $K$  maksymalizowaniu podlega **efekt** ekonomiczny  $\Delta Z$ , wyznaczany z wyrazu (16). Jeśli zaś koszty wdrożenia są bliskie, to wybrać należy wariant z maksymalnym osiągalnym **wynikiem** ekonomicznym  $E$ .

## 6. Niezbędne posłowie

Zagadnieniu zminimalizowania negatywnego wpływu na środowisko jakiegokolwiek obszaru (regionu, terenu, miasta itp.), podobnie do każdego innego zadania optymalizacyjnego, można nadać regularną formę zagadnienia linearnego programowania (planowania). Przy tym faktyczna nieliniowość zagadnienia, paradoksalnie, nie jest sprawą zasadniczą. Po pierwsze, wykrzywienie hiperprzestrzeni w wariacie nieliniarnego programowania jest prostym wzrostem wymiarowości zagadnienia. To bez wątpienia odzwierciedla całą złożoność fizycznych, biologicznych, ekonomicznych i socjalnych procesów łączonych układem ograniczeń, ale nie zmienia wewnętrznej sprzeczności tego układu. Po wtóre, na rozpatrywanym odcinku czasowym rozwiązywania konkretnych zagadnień ochrony środowiska zlinearyzowanie ograniczających funkcji nie stanowi problemu, ponieważ powstające przy tym błędy mieszczą się w ogólnym błędzie samego modelowania.

Przy niewątpliwej wiarygodności wyników ekonomicznego etapu analizy energo-ekologicznej należy ostrzec specjalistów w tej dziedzinie od bezw warunkowego przyjęcia do wdrożenia wariantu o maksymalnym efekcie ekonomicznym. Uzasadnioną technologię należy skrupulatnie sprawdzić pod wzglę-

dem ewentualnych negatywnych skutków we wszystkich powiązanych, w bardzo skomplikowany sposób, płaszczyznach jej działania: obniżenie wydajności głównej linii produkcyjnej, dodatkowe zużycie paliwa, energii elektrycznej wody, powietrza (!), reagentów chemicznych itd. To wszystko w sumie może udać osiągnięty podstawowy efekt energo-ekologiczny.

Jeśli na stadium ustalenia priorytetowych substancji szkodliwych zasady analizy energo-ekologicznej całkiem dopuszczają zastosowanie metod komputerowych, to wybór źródeł zanieczyszczenia i zwłaszcza techniczno-ekonomiczne uzasadnienie technologii ochrony środowiska potrzebują żywej myśli inżynierskiej jako nieodzownego elementu tego procesu, metody zaś numeryczne służą narzędziem pomocniczym.

## Literatura

1. **Szkarowski A.:** *Podwyższenie efektywności ochrony atmosfery przy spalaniu paliwa gazowego i ciekłego*. Rozprawa habilitacyjna. Sankt-Petersburg 1997.
2. **Szkarowski A.:** *Ocena współczesnych tendencji zanieczyszczenia środowiska naturalnego*. Rocznik Ochrona Środowiska. Tom 1. Koszalin 1999.
3. **Bałacki O.F.:** *Metodologiczne podstawy prognozowania uszczerbku od zanieczyszczenia atmosfery*. Rosyjska Akademia nauk. Moskwa 1995.
4. **Carpenter D.J., Thomas D.A.** *Benefits of pollution control the SO<sub>2</sub> case*. Oil and Gas Journ., Vol. 78, N 4. 1980.
5. **Boger R.A.:** *Environmental factors in renal decease*. Annual Proceedings NATO Adv. Res. Inst., 1983.
6. **Filippowa L.M., Insarov G.E. i inni:** *Ocena skutków zanieczyszczenia atmosfery w tle*. Kompleksowy globalny monitoring zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Materiały IV międzynarodowego sympozjum. Sankt-Petersburg 1992.
7. **Ridker R.G.:** *Economic costs of air pollution: studies in measurements*. Praeger. New York F.A. 1987.
8. **Bałacki O.F. i inni:** *Produkcja bezodpadowa: Ekonomia, technologia, zarządzanie*. Wyd. VINITI. Moskwa 1987.

## Economic Analysis in Environmental Protection Issues

### Abstract

Effective control of each project provides for the optimum address use of investments with a maximally attainable effect. In the environment protection activity the discussion deals with the effect of the sanitation of air, water and soil. The scales of sanitation can relate to the urban or agricultural territory, the landscapes and the places of leisure and treatment of people.

Three groups of factors, which determine the value of the ecological damage, usually are separated: the factors of perception, influence and state. In this case the indissoluble

connection between these groups of factors usually only is proclaimed. The principles of energy-ecological analysis allowed the author, without disrupting traditional structure, to supplement with its new key group of factors, named the factors of reciprocal effect.

These factors determine: the energy-ecological perfection of the environment protection technology, the technological level of industry, the stimulating (or vice versa - braking) action of legislation in the sphere of the protection of health and environment, the cultural and educational level of the populations, the economical stimulus of ecological activity, etc.

On this basis the schematic of the mechanism of the ecological damage formation as a result of anthropogenic destructive action on the environment was improved (Fig. 1). This diagram provides that reduction in the unfavorable influence on nature and man is achieved not only by means of direct reduction in the emission of harmful substances into the atmosphere from the group of the factors of influence. Through the factors of reciprocal effect into the process of the sanitation of the people living environment actively are implicated very factors of perception (level of the neutralization and utilization technology, the ecological education of population), and also factors of state (legislation and normative base, the economic stimulation of expenditures for ecology and the like.)

The procedure of the determination of the economic equivalents of the natural damages, applied to environment, is in detail represented in the article (formulas (1)-(6), fig. 2). Particular damages then were series-connected in the procedure of the estimation of complex ecological damage (formulas (7)-(16)).

To the task of the negative environmental effect minimization on scales of the territory in question as to any other optimization task, can be attached the regular form of the task of linear programming. In this case the actual nonlinearity of task does not have fundamental value. First, the bend of hyperspace in the version of nonlinear programming is a simple increase in the dimensionality of task. This, undoubtedly, reflects entire complexity of the physical, biological, economic and a social process, united under limitation system, but does not change the internal discrepancy of task itself.

In the second place, in the time interval of the solution of the specific objectives of environment protection the linearization of the limitation function is not problematic. Errors appearing in this case are plotted in a general error in the method itself.

In spite of the high reliability of the results of the functional-cost stage of energy-ecological optimization, it is necessary to warn against the absolute acceptance to the introduction of version with the maximum economic effect.

The prospective technology is necessary for checking up scrupulously from the point of view of possible negative consequences in all in the most complicated image the connected planes of its influence. The decline of productivity of a technological line displaced in time, additional consumption of fuel, energy, air and reagents, passing pollution of other environments can be observed. All this can bring to nothing the achieved effect

At a stage of definition of priority harmful substances computer methods give rather reliable result. But the establishment of sources of pollution and especially the feasibility report on nature protection technology still will long demand participation of alive engineering idea in this process.