

Wojciech Tarnowski

KRYTERIA OCENY A KRYTERIA OPTIMALIZACJI W PROCESIE KONSTRUKCYJNYM

Streszczenie. Uzasadniono, że dobór kryterium optymalizacji jest jedną z najważniejszych decyzji w procesie projektowo-konstrukcyjnym, nawet jeśli optymalizacja jest przeprowadzana intuicyjnie. Dokonano klasyfikacji sytuacji projektowych i artefaktów. Przedyskutowano problem doboru kryteriów i uzasadniono, że wyjściowym kryterium powinien być społeczny koszt całkowity. W konkretnych przypadkach można znaleźć kryterium postępująco hierarchicznie. Przedstawiono kilka inżynierskich metod identyfikacji kryterium.

Najczęściej gdy pytamy doświadczonych konstruktorów o kryteria optymalizacji odpowiadają: "to zależy ..." lub "to trzeba rozpatrzyć osobno dla każdego konkretnego przypadku..." Jak zależy? Jak rozpatrzyć?

W ostatnich latach pojawia się wiele prac zatytułowanych: "optymalizacja tego...", "optymalizacja tamtego"..., gdzie główny nacisk położono na procedurę optymalizacyjną, a kryteria przyjęto arbitralnie, często bez dyskusji, czasem nawet można odnieść wrażenie - dowolnie.

Nietrudno zgodzić się, że konstrukcja "optymalna" według przypadkowego kryterium wcale nie musi być lepsza od innej, pod warunkiem że spełnione są wszystkie pozostałe wymagania. Lepsza jest zła konstrukcja (nie odpowiadająca poprawnym kryteriom) niż zły układ kryteriów: w tym drugim przypadku istnieją nikielne szanse na poprawienie konstrukcji.

1. Wstęp

Istnieje wiele kryteriów oceny konstrukcji¹⁾. Niektóre są mierzalne (np. moc silnika, dokładność zegarka), inne nie (np. wygodność fotela, bezpieczeństwo samochodu). Niektóre są dwuwartościowe (np. telewizor kolorowy lub czarno-biały), wielowartościowe (np. samochód dwu- trój- lub czterodrzwiowy) lub zmieniające się w sposób ciągły (np. sprawność) w pewnych granicach. Wreszcie, w konkretnych warunkach i na określonym etapie pro-

¹⁾ Zwanych własnościami konstrukcji, wskaźnikami konstrukcji, zmiennymi zależnymi, wymaganiami, osiąganiami; a po angielsku: objectives lub performance variables lub behaviour variables, attributes, parameters, aspects.

cesu projektowo-konstrukcyjnego jedne są możliwe do wyliczenia, inne tylko do oszacowania, wreszcie pozostałe nie mogą być nawet oszacowane z dokładnością która by wystarczała do ich zastosowania. Różna też jest ranga w odniesieniu do tej samej klasy konstrukcji: począwszy od bardzo szczegółowych (np. liczba nastawialnych prędkości wycieraczki szyby w samochodach) do bardzo ogólnych, np. efektywność ekonomiczna²⁾ lub kryteria konstrukcji podane przez Dietricha³⁾.

Kryteriów tych istnieje wiele⁴⁾. Każda gałąź a nawet każda klasa konstrukcji ma swój tradycyjny układ kryteriów, często usankcjonowany prawem (np. normy, przepisy, regulaminy) lub zwyczajem. Powstają pytania:

- 1) Jakie kryteria przyjmować dla określonych przypadków, które są mniej, a które bardziej ważne, jakie przypisywać im miary gdy są niemierzalne?
- 2) Które spośród nich brać jako kryteria optymalizacji, a które tylko jako jedno- lub dwustronne ograniczenia?
- 3) Czy może istnieć w określonym przypadku tylko jedno czy więcej kryteriów optymalizacji?

2- Decyzja w procesie projektowo-konstrukcyjnym

Decyzja jest kluczowym elementem tego procesu⁵⁾ i nie może być podjęta w sposób racjonalny bez racjonalnego układu kryteriów. Stąd wynika ważność kryteriów. Projektant czy konstruktor podejmuje decyzje od samego początku procesu, gdy ma jeszcze niewielką wiedzę o przedmiocie swojej pracy.

Każda decyzja powinna być, i na ogół świadomie dążymy do tego aby była w jakimś sensie optymalna.

Racjonalna decyzja może być, w skrajnych przypadkach: albo podjęta jako skutek pełnej analizy logicznej (wyliczona), albo - przeciwnie - całkowicie intuicyjna. W rzeczywistości mamy do czynienia z przypadkami pośrednimi: zawsze staramy się zebrać jakieś informacje przed powzięciem decyzji, choć z drugiej strony nawet najpełniejsze informacje mają charakter probabilistyczny.

2) cost - effectiveness.

3) Optymalne obciążenie, optymalne tworzywo, optymalna stateczność, optymalne stosunki wielkości związanych kryterium pewności.

4) Np. English [3] wymienia ich około 1000 tylko dla przemysłu zbrojeniowego USA.

5) Ogólnie akceptowano pogląd, że proces konstrukcyjno-projektowy to rozwijająca się spirala kolejnych czynności: syntezy, analizy, optymalizacji i decyzji.

Należy podkreślić, że pierwsze decyzje (na początku procesu projektowego) są najważniejsze jako najbardziej brzmiące w skutki ekonomiczne, socjologiczne, ekologiczne, techniczne, moralne i w każdym innym sensie). Dlatego na nich należy skupić przede wszystkim uwagę.

Każda decyzja niosąca wielką odpowiedzialność (karę) powinna być wykryta jak najwcześniej [6; str. 57].

Przed każdą decyzją należy oszacować koszty przygotowania tej decyzji: najdroższa jest decyzja podejmowana analitycznie, najtańsza - intuicyjnie. Ewentualne straty spowodowane niewiedzą powinny być większe niż koszt decyzji (koszt poznania) [6, str. 57].

3. Artefakty jako przedmiot projektowania

W dalszym ciągu artefaktem będziemy nazywać system, podsystemem, urządzenie, wytwór, rzecz, usługę, maszynę itp. a zatem wszystko to co jest przez człowieka projektowane i konstruowane w celu fizycznego wytworzenia, w sferze działalności materialnej.

Potraktujmy je jako systemy zaspokajające potrzeby ludzkie. Ze względu na stosunek poszczególnych artefaktów do procesu zaspokajania potrzeb możemy podzielić je na trzy grupy:

Typ A - bezpośrednio zaspokajające potrzeby ludzi jako konsumentów a nie jako producentów,

Typ B - te które są składnikami powyższych.

To jest trudny podział. Rozważmy np. łańcuch artefaktów: szafa - pokój - mieszkanie - dom - ulica - osiedle. Wydaje się, że szafa jest artefaktem typu A, ponieważ bezpośrednio zaspokaja potrzeby użytkownika. Ale o jej przydatności decyduje też konstrukcja mieszkania: dla każdego typu mieszkania potrzebna jest szafa o innej konstrukcji. Z kolei optymalne mieszkanie zależy od tego jaki jest dom (jednorodzinny, szeregowy, blok mieszkaniowy, wieżowiec), który z kolei zależy od tego gdzie stoi (w jakiej dzielnicy). A przecież szafę należy skonstruować nie wiedząc najczęściej, gdzie ona stanie. Zatem należy ją potraktować jako artefakt typu A, a użytkownika jako projektanta systemu jakim jest jego mieszkanie.

4. Kryteria

Dla wislu dziedzin techniki metody analizy i syntezy konstrukcji osiągnęły w ostatnich latach stosunkowo wysoki poziom: opracowano formalne algorytmy matematyczne lub choćby tylko logiczne. Dzięki temu możliwa stała się optymalizacja. Możemy więc powiedzieć, że dobór kryteriów optymalizacji stał się najważniejszą decyzją w procesie konstrukcyjnym.

Dla większości tradycyjnie wytwarzanych artefaktów kryteria te są już sformułowane: normami, przepisami czy zwyczajowo. Należą do nich wyroby przemysłowe (np. kocioł parowy), rynkowe (np. zegarek), a wśród nich nawet takie, które nie są projektowane przy użyciu metod matematycznych, np. meble, ubrania itp., przy ocenie których dużą rolę odgrywają czynniki niemierzalne, np. estetyka, wygoda, moda, bezpieczeństwo i inne.

Chcemy, aby zaprojektowane artefakty były jak najlepsze. Musimy mieć zatem system wartości. System taki powinien odzwierciedlać użyteczność U jaką człowiek (jako członek społeczeństwa) przypisuje poszczególnym artefaktom. Ta użyteczność opisuje stopień zaspokojenia poszczególnych wymagań y_1 - są to własności konstrukcji, jak sprawność, moc, ciężar, wydajność, dokładność itp. Zatem użyteczność jest funkcją własności:

$$U = U(y_1; y_2 \dots y_n) \quad i = 1 \dots n.$$

Matematyczna postać tej funkcji nie może być obiektywnie wyznaczona: może być jedynie statystycznie określona na podstawie badania subiektywnych opinii poszczególnych ludzi - jaką przywiązują wagę do poszczególnych własności y_1 . Problem ten jest przedmiotem teorii użyteczności [1].

Zastanówmy się, jaka własność lub jakie własności powinny być kryterium optymalizacji.

Każdy artefakt należy do (jest elementem) wielu różnych systemów jednocześnie. Np. droga należy do systemu komunikacji i transportu wielu różnych ludzi i instytucji, do systemu łączności telefonicznej (jeśli równolegle biegnie linia telefoniczna), do systemu melioracji pól, do systemu obronnego państwa, do systemu geodezyjnego, do systemu finansowego władz terenowych, do krajobrazu - itd. itp.

Każdy system narzuca danemu artefaktowi swoje różne wymagania, najczęściej sprzeczne. Dlatego nie może on być optymalny ze względu na wymagania wszystkich systemów (do których należy) jednocześnie, bez względu na przyjęte kryteria optymalizacji.

Aby rozwiązać tę sprzeczność trzeba znaleźć taki nadsystem, do którego należą wszystkie systemy o których była mowa powyżej. Takim nadsystemem jest społeczeństwo z jego potrzebami.

Jakie są zatem kryteria optymalizacji w takim nadsystemie? Jakie są cele i zadania społeczeństwa? Odpowiedzi należy szukać w kategoriach moralno-etycznych. Bezpośrednio z nich wynikają decyzje polityczne i gospodarcze.

Spółeczeństwo produkuje pewną masę dóbr i usług, przeznaczoną do konsumpcji, częściowo indywidualnej, częściowo zbiorowej. Decyzja: co, jakie i ile jest w tym zakresie decyzją polityczną i powinna być funkcją celów jakie dane społeczeństwo sobie stawia. Wszystko co produkujemy - spożywamy. Pragnieniem indywidualnego członka społeczeństwa jest najpełniejsze zaspokojenie swoich potrzeb: tzn. aby jak największa ilość potrzeb była

spełniona na najwyższym poziomie jakości. Jednak dla różnych ludzi potrzeby te są różne, zarówno co do rodzaju, jakości i ilości. Zadaniem społeczeństwa jest wyprodukowanie i dystrybucja odpowiednich dóbr, ale także świadome kształtowanie indywidualnych potrzeb⁶⁾.

Zadaniem politycznym jest pogodzenie interesów społecznych i indywidualnych i stworzenie takiej sytuacji, aby decyzje i wywołane nimi działania były zgodne. To zadanie winien spełnić centralny planista (rząd). Wykładnią polityki społecznej powinna być etyka i moralność, stanowiąca podwaliny systemu wartości. Odpowiednio do tej polityki centralny planista podejmuje, w imieniu społeczeństwa, m.in. decyzje produkcyjne: co, jakie i ile ma być produkowane. Relacja: jednostka - społeczeństwo przenosi się zatem na relację: konsument - producent.

Zdając sobie sprawę z uproszczenia, dla celów inżynierskich, postawmy tezę, że społeczeństwo naszej cywilizacji chce zmaksymalizować konsumpcję przy zabezpieczeniu pewnego poziomu bezpieczeństwa narodowego i międzynarodowego, kultury, wolności i wychowania.

Stawiamy tezę, że ponieważ środkiem wymiany jest pieniądz, powstanie najlepsza sytuacja gdy koszt zaspokojenia potrzeby będzie najmniejszy. Konsument wówczas będzie mógł zaspokoić największą możliwą ilość swoich potrzeb. Jednocześnie producent powinien oferować artefakty (wytwory i usługi) różnej jakości i odpowiednio po różnych cenach, aby umożliwić optymalizację zaspokojenia indywidualnych potrzeb.

Mamy więc kompleks zagadnień: podział dóbr, kształtowanie potrzeb, przewidywanie potrzeb. Wynikiem jest planowanie produkcji i cen.

Istnieje już dość dobrze opracowana teoria ekonomiczna [1, Rozdział 11] (Welfare Economics) której przedmiotem jest określenie dobrobytu społecznego i sposoby optymalnego zaspokojenia potrzeb ludzkości.

Z powyższego wynika, że kryterium optymalizacji konstrukcji powinno być funkcją użyteczności i kosztu.

Obecnie można wyróżnić następujące trzy rodzaje kryteriów optymalizacji φ :

a) $\varphi = U = \sum U_i + \beta_k \cdot K$. Kryterium jest funkcją użyteczności U zawierającą koszt całkowity K^x) pomnożony przez odpowiednio subiektywnie dobrane współczynniki wagi $\beta_k < 0$.

Szczególnym przypadkiem jest, gdy wszystkie współczynniki wagi przyjmujemy $\beta_i = 0 \quad i = 2 \dots n$ oraz $\beta_k = 0$ z wyjątkiem jednego $\beta_1 \neq 0$, wówczas własność γ_1 jest kryterium optymalizacji.

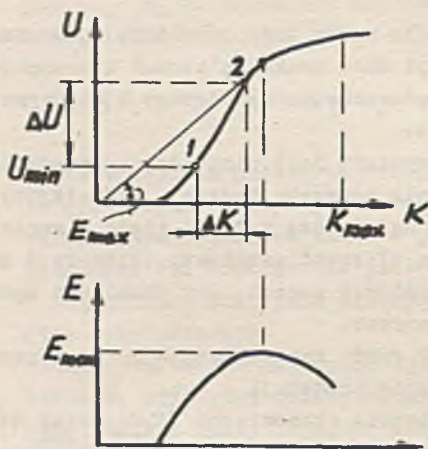
6) Jest to źródło konfliktów między indywidualnym człowiekiem a społeczeństwem a także między poszczególnymi ludźmi.

x) Mam tu na myśli całkowity koszt społeczny: przygotowania produkcji, wytworzenia, eksploatacji (użytkowania) i kasacji. Dlatego "społeczny" bo należy uwzględnić także koszty pośrednie, np. spowodowane zatruciem środowiska, niekorzystnym wpływem na inne systemy itp.

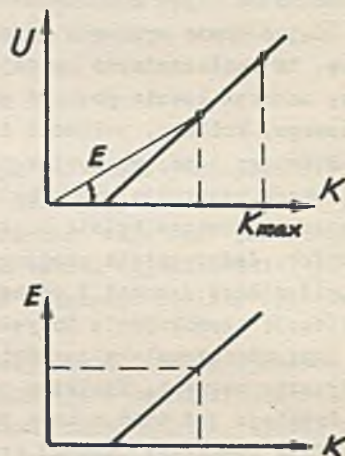
b) $\varphi = \frac{A}{K}$, gdzie $A = \text{const}$ (lub $\varphi = K$, szukamy wówczas minimum). Po-
stosowane wymagania ($y_1; \dots y_n$) ustalono arbitralnie.

c) $\varphi = \frac{U}{K^0} = E$, gdzie: E - efektywność, U_0 - użyteczność (bez kosztu).
Szukamy takiej konstrukcji, dla której $E = E_{\text{max}}$.

To kryterium jest szczególnie użyteczne, gdy funkcja kosztów jest sto-
sunkowo płaska w interesującym nas zakresie (rys. 1). Małym nakładem środ-
ków ΔK uzyskujemy znaczny przyrost użyteczności ΔU . Gdy krzywa kosztów
przebiega jak na rys. 2, optimum leży na krawędzi zakresu (wyznaczonej ma-
ksymalnym dopuszczalnym kosztem K_{max}).



Rys. 1. Nieliniowy przebieg funkcji $K(U)$; w zakresie 1 - 2 funkcja jest stosunkowo płaska



Rys. 2. Liniowy przebieg funkcji $K(U)$: optimum leży na granicy zakresu.

W istocie wszystkie trzy przypadki są równoważne: jeśli ustalić na po-
czątku wymagania $U_0 = \text{const}$, to kryterium efektywności (pkt c) staje się
kryterium kosztu (b) lub kryterium użyteczności całkowitej U (a). Jeśli
znamy matematyczne zależności między U i K i cechami konstrukcji, to te
trzy kryteria są różnymi transformacjami tego samego zadania. Najczęściej
jednak tak nie jest, i wówczas projektant sam winien zdecydować które kry-
terium jest najwygodniejsze i czyni dyskusję najbardziej "przejrzystą".

Nie wszystko da się ocenić w pieniądzu - np. wartość zabytków, cier-
pienie, zdrowie i życie ludzkie (to ostatnie to przecież nie tylko koszt
wychowania), krajobraz.

Można spotkać opinię, że do takich wartości należy również czas [5].
Wydaje się jednak, że jeśli nie chodzi tu o czas człowieka w sensie np.
bezwrotnie utraconych możliwości przeżycia czegoś - to nie jest to słusz-
ne mniemanie. Ekonomisci znają wartość czasu [1, rozdz. 8]. W pewnych wa-
runkach limitowanych dostaw (np. na wojnie albo w przypadku klęski żywio-

lowej) pewne przedmioty mogą się też wydawać bezcenne, ale to jest tylko pozorne. Np. gaśnica pianowa na początku pożaru, której cena nominalna wynosi np. 2.000 zł, warta jest tyle ile wynoszą straty wywołane pożarem - czyli np. miliony złotych - ale nie jest bezcenna.

Podane tu przykłady nie zmieniają faktu, że koszt jako miara wartości jest podstawowym kryterium.

Powyżej przedyskutowano sprawę kryteriów optymalizacji artefaktów grupy A. Najczęściej jednak konstruktor czy projektant ma do czynienia z artefaktem grupy B.

Każdy system (artefakt grupy A) składa się z wielu różnych podsystemów (artefaktów grupy B) i powiązany jest z nimi wieloma różnorodnymi zależnościami. W ogólnym przypadku nie jest prawdziwe stwierdzenie, że optymalny system składa się z optymalnych podsystemów (optymalnych ze względu na to samo kryterium). Np. najlżejszy rower nie składa się z najlżejszych kół, ramy, kierownicy itd. Dlatego dla artefaktów grupy B należy zastosować inne kryteria optymalizacji. Aby je odnaleźć, należy podzielić system A na podsystemy B, odnaleźć związki między właściwościami y_1 systemu i właściwościami podsystemów i w ten sposób, na podstawie kryterium systemu A wyznaczyć kryteria dla poszczególnych podsystemów B. Jeśli zauważymy, że każdy podsystem B da się podzielić na jeszcze mniejsze podzespoły niższego szczebla, to dojdziemy w ten sposób do hierarchicznego układu kryteriów. Zatem kryteria niższego szczebla ustala projektant wyższego szczebla, w porozumieniu z projektantem niższego szczebla.

Nawet w najbardziej uporządkowanej gospodarce jest niezwykle trudno zrealizować taki hierarchiczny łańcuch poszukiwania kryteriów, szczególnie wówczas, gdy projektujemy wyroby grupy B o uniwersalnym zastosowaniu lub dla nieokreślonego odbiorcy. Możemy się wówczas oprzeć na intuicji, zdrowym rozsądku i doświadczeniu lub odwołać się do najbardziej ogólnych moralno-etycznych kryteriów przyjętych w danym społeczeństwie.

Systemy etyczne służą m.in. do tego, aby można było bezpośrednio ocenić wartość każdego szczegółowego postępowania (działania) nie przechodząc przez całą hierarchię zależności. O tyle o ile spełniają tę funkcję, mają praktyczne znaczenie. Ich podstawowym, pierwotnym kryterium jest szczęście (?), dobro (?) społeczeństwa. Piękno pracy konstruktora - jego strona twórcza i artystyczna polega m.in. na tym, że dobiera kryteria optymalizacji intuicyjnie, gdy nie może ich wyznaczyć stosując metody matematyczne.

5. Sytuacje projektowe

Możemy wyróżnić następujące sytuacje w których podejmowane są decyzje projektowe:

1) Projektant (w imieniu producenta) wybiera cechy artefaktu typu A w celu produkcji,

- 2) Projektant (konstruktor) wybiera cechy artefaktu typu B w celu produkcji (lub zakupu do celów produkcyjnych),
- 3) Użytkownik wybiera cechy artefaktu A w celu zakupu.
 - ad 1 - prawdopodobnie kryterium wyboru będzie koszt całkowity,
 - ad 2 - kryterium wynika z przekształcenia kryteriów w hierarchicznym postępowaniu optymalizacyjnym,
 - ad 3 - prawdopodobnie kryterium będzie suma użyteczności U (zawierających koszty) wielu artefaktów które użytkownik jednocześnie potrzebuje. Interesująca jest sytuacja, gdy użytkownik ma do wyboru dwa podobne wytwory spełniające te same potrzeby, za tę samą cenę. Powinien wówczas zwracać uwagę na koszty eksploatacji.

Projektowany wytwór może być przeznaczony:

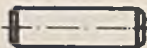
- 1) dla konkretnego użytkownika: znamy okoliczności i warunki eksploatacji możemy sprecyzować wymagania (deterministycznie lub stochastycznie), dokładność tego określenia jest kwestią czasu i pieniędzy.
- 2) na półkę, dla anonimowego użytkownika: możemy się tylko domyśleć w jakich warunkach wytwór będzie użytkowany, w ostateczności możemy te warunki narzucić.

Jeszcze inny podział:

 - a) produkcja jednostkowa - projektowanie jest najczęściej uproszczone, optymalizacja raczej intuicyjna, na podstawie prostego modelu matematycznego,
 - b) produkcja masowa lub seryjna.

5. Wyznaczenie kryteriów optymalizacji

Jak powyżej stwierdzono, bazą wyjściową do wyznaczenia kryterium powinien być artefakt typu A. Z reguły jest to wielki system (np. krajowa sieć radiowo-telewizyjna, krajowy system edukacyjny itp.). Gdybyśmy chcieli szukać optymalnego zbioru wartości cech konstrukcyjnych¹⁾ dla takiego wielkiego systemu korzystając bezpośrednio z jego kryterium optymalizacji, musielibyśmy mieć jego pełny model matematyczny, przy czym ilość zmiennych tego modelu musiałaby być niewiarygodnie duża²⁾. Wyjściem z sytuacji jest hierarchiczne przetwarzanie kryteriów optymalizacji [4]: poczynając od kryterium pierwotnego (proponuje się aby był to koszt całkowity) dla najogólniejszego nadsystemu, przechodzimy do kryteriów optymalizacji dla podsystemów.



Rys. 3. Ile cech konstrukcyjnych określa tę konstrukcję?

- 1) Cechami konstrukcyjnymi nazywamy zbiór informacji potrzebny do fizycznej realizacji konstrukcji: są to wymiary, cechy materiałowe, uwagi technologiczne, wskazówki montażu i regulacji itp.
- 2) Np. najprostszy wałeczek (rys. 3) posiada co najmniej 15 cech konstrukcyjnych (wymiary, tolerancje wymiarów i kształtu, cechy materiałowe). Zatem ile ich ma np. cały samochód?

Jeżeli możemy znaleźć model matematyczny nadsystemu, możemy skorzystać z zasad optymalizacji wielopoziomowej. Kluczowym problemem jest tu dekompozycja modelu, tzn. podzielenie zadania wyjściowego na mniejsze zadania optymalizacyjne, które są pochodną zadania wyjściowego. Należy znaleźć takie kryteria optymalizacyjne dla poszczególnych części modelu, że ich spełnienie przyniesie w rezultacie optymalizację zadania wyjściowego. Te mniejsze zadania są reprezentowane w modelu ogólnym tzw. zmiennymi syntetycznymi lub zmiennymi koordynacyjnymi. Są to zmienne zależne dla zadania niższego a zarazem zmienne niezależne dla zadania wyższego. Jedną z tych zmiennych jest kryterium optymalizacji zadania mniejszego (niższego).

O ile teoria systemów wielopoziomowych (w tym zasady dekompozycji i metody optymalizacji) jest intensywnie i z powodzeniem rozwijana, o tyle jej zastosowanie do znajdowania kryteriów optymalizacji w procesie projektowania jest wybitnie utrudnione przez to, że systemy tu występujące są wyjątkowo wielkie, o wyjątkowo wielkiej ilości zmiennych, a przy tym niezwykle trudne (lub praktycznie niemożliwe) jest znalezienie modelu matematycznego takich systemów.

Dlatego, nie negując teoretycznej słuszności hierarchicznego poszukiwania kryteriów stwierdzić trzeba, że obecnie jest to możliwe na drodze intuicyjnej lub co najwyżej na drodze szacowania zależności: np. w pewnych okolicznościach powiemy, że kryterium kosztu całkowitego transportu lotniczego przechodzi w kryterium ciężaru dla fotela lotniczego albo, że kryterium kosztu całkowitego energii elektrycznej zmienia się na kryterium sprawności dla kotła parowego, albo że kryterium kosztu całkowitego polietylenu na kryterium niezawodności jakiegoś regulatora w systemie kontroli automatycznej jego produkcji - itd.

Z chwilą gdy ustalimy zasadnicze przeznaczenie projektowanego urządzenia, możemy sporządzić listę wymagań które są jednocześnie kryteriami oceny. Odzwierciedlają one cel któremu urządzenie służy i warunki w jakich będzie użytkowane. Przy sporządzaniu tej listy korzystamy z doświadczenia własnego i kolegów, przeprowadzamy wywiad z przyszłym użytkownikiem i dystrybutorem, studiujemy literaturę i odpowiednie normy. Spośród nich wybieramy najważniejsze (jedno lub kilka) i próbujemy utworzyć z nich kryterium optymalizacji.

Niektóre z wymagań są z natury niemierzalne (np. wygoda, bezpieczeństwo, estetyka, funkcjonalność itp.). Jaką przyporządkować im miarę liczbową? Staramy się wówczas znaleźć inny, zastępczy parametr, mierzalny, który jest reprezentatywny możliwie jednoznacznie dla wymagania pierwotnego [6, Method 6.2], np.:

wygoda (fotela samochodowego) - może być mierzona ilością godzin nieruchomego siedzenia do czasu wystąpienia odrętwienia; czyli "wygoda" przekształcona jest w "czas".

bezpieczeństwo (wyłącznika elektrycznego w kopalni) - możemy przekształcić w prawdopodobieństwo spowodowania eksplozji w określonej atmosferze wybuchowej,

estetyka - przeciętna ilość usatysfakcjonowanych estetycznie użytkowników,

funkcjonalność (mieszkania) - długość średniej dziennej przebytej drogi przez mieszkańców.

Następnie, dla tak przekształconego parametru próbujemy znaleźć wymagania ilościowe, uwzględniając margines niedokładności wynikający z subiektywności całej operacji - oraz uwzględniając interesy producenta i użytkownika.

Propozycje metod wyboru kryteriów przedstawiono np. w pracach [9] i [10].

7. Dalsze uwagi

1. Kryteria powinny być sformułowane, choćby w kategoriach ogólnych, lecz na początku procesu projektowania, jako uwieńczenie etapu poświęconego formułowaniu zadania. Należy starać się je ustalić w sensie matematycznym w miarę jak rozeznajemy coraz lepiej nasze zadanie.

2. Kryteria są dynamiczne i należy się liczyć z możliwością zmiany kryterium optymalizacji po szczegółowej analizie zadania, np. może się okazać że funkcja kryterialna jest bardzo płaska w zakresie nas interesującym, albo że dokonaliśmy syntezy wytworu o zupełnie nowych własnościach, zaspokajającego nowe potrzeby prócz pierwotnych.

3. Jeśli przyjąć, że o kryteriach decyduje opinia użytkownika, to należy szczególnie zbadać opinię użytkownika o jego potrzebie. Może się okazać (np. [5]) że nie ma zgodności opinii wśród użytkowników co do ważności poszczególnych własności artefaktu.

4. Należy podkreślić rolę projektanta nie tylko służebną ale twórczą w stosunku do potrzeb: powinien on nią tylko zaspokajać rozpoznane potrzeby ale je świadomie kształtować i zmieniać. Współczesne życie dostarcza liczne przykłady nieracjonalnych (ze społecznego punktu widzenia) gustów i mody. Np. samochody z metalizowanymi lakierami, chromowanymi zderzakami i ozdobami, silnikiem o mocy 150 KM lub więcej i 6 osobową karoserią, wykorzystywane najczęściej przez 1 (czasem 2) osobę. Albo domki tzw. jednorodzinne przylegające ścianami, posiadające miniaturowe ogródki i niezależne systemy ogrzewania, najczęściej nieekonomiczne. Albo wielokrotne opakowania - perfum, alkoholi itp.

5. Należy również uwzględnić czas w jego wszystkich aspektach, a głównie:

- czas opracowania konstrukcji projektowanego artefaktu,
- czas fizycznej realizacji (produkcji) artefaktu,
- rozłożenie kosztów w czasie: 100 zł wydane teraz jest więcej warta niż wydane później (nawet abstrahując od inflacji).

6. Obecnie dość często można spotkać następującą praktykę optymalizacji: konstruktor przyjmuje intuicyjnie pewną koncepcję rozwiązania, następnie stara się znaleźć możliwie dokładny model matematyczny. Potem intuicyjnie wybiera jedną z własności konstrukcji y_1 jako kryterium optymalizacji, tak aby umożliwić optymalizację w sensie matematycznym. Nie ma dowodu, że tak znaleziona "optymalna" konstrukcja jest lepsza od innej, "nie - optymalnej", która spełnia wszystkie pozostałe wymagania. Można więc postawić tezę, że jeśli kryterium jest dowolne, cały wysiłek optymalizacyjny jest niepotrzebny.

7. W trudnej sytuacji jest konstruktor urządzeń automatyki i informatyki jeśli chce przeprowadzić optymalizację. Są to najczęściej artefakty grupy B. Często urządzenia te "nadzorują" pracę wielkich obiektów przemysłowych i od ich działania zależy wydajność lub bezpieczeństwo wielkich systemów ekonomicznych lub militarnych. Należy starannie przemyśleć hierarchię kryteriów np. może się okazać, że jest ekonomiczne zainstalowanie trzykrotnie droższego regulatora pewnego procesu technologicznego, który zapewni np. 0,1% - procentową poprawę jakości produktu produkowanego masowo albo zmniejszy niebezpieczeństwo przestoju. Dlatego niezawodność, dokładność, własności dynamiczne i inne bywają używane jako kryteria optymalizacji, przy ustaleniu górnej granicy kosztu jako ograniczenia.

8. Wnioski

1. Dobór kryterium, a szczególnie kryterium optymalizacji jest kluczową decyzją w procesie projektowo-konstrukcyjnym. Kryterium to wpływa na wszystkie decyzje od początku procesu konstrukcyjnego, a nie tylko jest potrzebne do optymalizacji w ścisłym sensie matematycznym.

2. Obecnie można zauważyć silną dysproporcję między znacznym zaawansowaniem metod optymalizacji i często "prostacim" podejściem do sprawy wyboru kryterium optymalizacji.

3. Problem kryteriów jest obecnie bardzo dyskusyjny i brak ogólnie przyjętych reguł doboru.

4. Kryterium optymalizacji powinno być ustalone w każdym przypadku, tak że wówczas gdy wiadomo że nie będziemy prowadzić optymalizacji w ścisłym sensie i powinno być ustalone jak najwcześniej.

5. W przypadku ogólnym jako kryterium należy przyjąć użyteczność lub efektywność. Jeśli zauważymy, że z reguły zadowolamy się pewnymi ograniczonymi właściwościami konstrukcji, kryterium użyteczności przechodzi w kryterium kosztu całkowitego.

6. Dla przyrządów racjonalne jest stosowanie innych kryteriów, np. niezawodność, dokładność, własności dynamiczne itp.

7. Już obecnie istnieją półintuicyjne metody wyznaczania kryteriów.

8. Niniejsza praca nie daje recepty na wyznaczanie kryteriów optymalizacji – zostały tu uwypuklone tylko niektóre związki logiczne. Zawsze najważniejszy pozostanie indywidualny osąd konstruktora, jako wynik wiedzy, logiki i intuicji.

LITERATURA

- [1] R. deNeufville, J. Stafford: Systems Analysis for Engineers and Managers. Mc Graw-Hill, 1971.
- [2] J. Dietrych: Projektowanie i konstruowanie. WNT Warszawa 1974.
- [3] J.M. English (editor): Cost - Effectiveness. The Economic Evaluation of Engineered Systems. John Wiley, 1968.
- [4] W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbicka: Metody obliczeniowe optymalizacji. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1973.
- [5] S. Jolliffe, P. Sothcott: How Choices are made. Electronics and Power, 16 Jan. 1975, p. 31.
- [6] J.C. Jones: Design Methods. Seeds of Human Futures. Wiley-Interscience, 1970.
- [7] W. Tarnowski: Kryteria optymalizacji konstrukcji. Pomiar, Automatyka, Kontrola, 1974, Nr 3, s. 120.
- [8] G.H. Mitchell: Operational Research. National Coal Board, London 1972.
- [9] W. Tarnowski: Wybór optymalnej konstrukcji. Sympozjum Optymalizacja w Mechanice. Wisła 1976.
- [10] J. Jagoda: Algorytm obliczeniowy metody ocen wielokryteryjnych rozwiązań projektowych. Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej. Nr 29, s. 149, Wrocław 1975.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ И КРИТЕРИИ ОПТИМАЛИЗАЦИИ
В ПРОЦЕССЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Р е з ю м е

В работе доказывается, что выбор критериев оптимализации является одним из важнейших в конструкционно-проектировачном процессе, даже если оптимализация ведётся интуитивно.

Предложена классификация проектных ситуаций и артефактов. Оговорена проблема выбора критериев и доказано, что основным критерием должны быть полные общественные затраты. В некоторых случаях можно подыскать критерий, следуя иерархической процедуре. Показано несколько инженерных методов идентификации критериев.

EVALUATION AND OPTIMIZATION CRITERIA IN DESIGNING

S u m m a r y

The choice of an optimization criterion is one of the most important decisions in the design process, even if it is done intuitively assumes the paper. A systematics of design situations and artefacts being designed has been discussed. The author suggests that the total social cost should be the original optimization criterion. In particular design cases one should derive the criterion from the original one by hierarchical sequence way. Some practical methods of criterion's identification have been presented.