

Wojciech ZOLEŃSKI
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Zarządzania, Administracji i Logistyki
wojciech.zolenski@polsl.pl

MODELOWANIE ZALEŻNOŚCI PRZYCZYNOWO-SKUTKOWYCH W OPISIE SYTUACJI PROBLEMOWEJ

Streszczenie. Identyfikacja i analiza zależności przyczynowo-skutkowych jest ważną częścią opisu sytuacji problemowej. Podstawowymi trudnościami występującymi w modelowaniu takich zależności są licznosc i złożoność zjawisk, jakie należy uwzględnić oraz ograniczona przewidywalność zamierzonych wyników. W artykule przedstawiono ogólny model struktury zależności przyczynowo-skutkowych oraz sposoby dekompozycji i upraszczania złożoności w celu utworzenia modeli formalnych, mających zastosowanie w komputerowych symulacjach badawczych.

Słowa kluczowe: modelowanie, rozwiązywanie problemów

MODELING CAUSE-RESULTING IN THE DESCRIPTION OF THE PROBLEM SITUATION

Abstract. Identifying and analyzing cause-and-effect relationships is an important part of the problem description. The basic difficulties involved in modeling such dependencies are the multiplicity and complexity of the phenomena to be taken into account and the limited predictability of the intended results. The article presents the general model of causal relationship structure and the ways of decomposition and simplification of complexity in order to create formal models applied in computer simulation tests.

Keywords: modeling, problem solving

1. Wprowadzenie

W modelowaniu zależności przyczynowo-skutkowych występują dwie koncepcje: jakościowa – graficzno-opisowa oraz formalno-ilościowa.

W modelach jakościowych wyszczególnia się możliwe oddziaływania i zamierzone wyniki, a następnie wyznacza się zależności przyczynowo-skutkowe, przedstawiając je zazwyczaj w postaci graficznej. Oddziaływania, wyniki oraz zależności wyników od oddziaływań charakteryzowane są opisowo. Utworzenie takich modeli jest stosunkowo łatwe, ale brak opisu ilościowego uniemożliwia analizę ważnych zagadnień występujących w sytuacjach problemowych. Między innymi niemożliwe jest bilansowanie zapotrzebowania na ograniczone zasoby i porównywanie wartości efektów z wartością poniesionych nakładów. Praktycznie nie da się też badać bardziej złożonych zjawisk, takich jak możliwość pojawienia się oscylacji w zależnościach ze sprzężeniem zwrotnym.

Koncepcja formalno-ilościowa w znacznej mierze opiera się na metodach wypracowanych w teorii sterowania¹. Ujęcie formalne koncentrując się na analizie zależności ilościowych, opisanych równaniami algebraicznymi i różniczkowymi, zakłada daleko idące uproszczenia. W szczególności przyjmuje się stałość struktury zależności przyczynowo-skutkowych i stałość występujących w równaniach parametrów. W klasycznej teorii sterowania, posługującej się rachunkiem operatorowym Laplace'a, zakłada się też liniowość wszystkich zależności.

W modelach ilościowych ograniczona przewidywalność zjawisk uwzględniana jest tylko w odniesieniu do wartości cech ilościowych, a podstawowym sposobem uniezależnienia wyników od niepewności i zakłóceń jest zastosowanie odpowiednio silnego, ujemnego sprzężenia zwrotnego. W modelach formalnych zjawiska jakościowe uwzględniane są tylko wtedy, gdy można je opisać zależnościami ilościowymi. Z tego powodu część zjawisk jest pomijana albo przedstawiona w dużym uproszczeniu.

Rozpowszechnienie systemów symulacji komputerowych sprawiło, że wymogi dotyczące liniowości, stałości parametrów a nawet stałości struktury modelu nie mają już większego znaczenia. Pozostają jednak trudności związane z dużą złożonością modelu, gdyż nawet proste zjawiska jakościowe trzeba opisać wieloma złożonymi zależnościami ilościowymi. Trudne jest też nawet przybliżone oszacowanie licznych parametrów występujących w modelach symulacyjnych.

Sytuacja problemowa to trudna do usunięcia rozbieżność pomiędzy istniejącym i pożądanym stanem rzeczy². Istotą rozwiązywania problemów jest tworzenie wartości, to znaczy taka zmiana stanu rzeczy, aby wypadkowa wartość wyników ocenianych pozytywnie i skutków ubocznych ocenianych negatywnie była większa od wartości nakładów poniesionych

¹ Skowronek M.: Modelowanie cyfrowe. Opis, algorytmy, środki. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004; Kaczorek T. i in.: Podstawy teorii sterowania. PWN, Warszawa 2012.

² Szerzej o opisie sytuacji problemowych, [w:] Zoleński W.: Determinanty sytuacji problemowych – przegląd i systematyzacja. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 83. Politechnika Śląska, Gliwice 2015.

na uzyskanie tych wyników. Twórcze (innowacyjne) rozwiązywanie problemów wyróżnia nowość w tworzeniu wartości. Konsekwencją nowości jest ograniczona przewidywalność wyników, czyli cechami charakterystycznymi twórczego rozwiązywania problemów są: 1) tworzenie wartości, 2) nowość, 3) trudność, 4) ograniczona przewidywalność. Te same cechy charakteryzują modelowanie zależności przyczynowo-skutkowych, opisujących sytuacje problemowe.

Celem artykułu jest wskazanie, że w modelowaniu zależności przyczynowo-skutkowych, które opisują sytuację problemową uzasadnione jest połączenie eksperymentów myślowych opartych na modelach opisowych oraz symulacji komputerowych bazujących na modelach formalnych. W artykule zamieszczono też przydatne w modelowaniu uwagi praktyczne wynikające z doświadczeń autora w analizie sytuacji problemowych występujących m.in. w projektowaniu systemów informatycznych, układów pomiarowych, systemów łączności, w sterowaniu procesami w systemach technicznych oraz w badaniu zjawisk występujących w problematyce wczesnego rozpoznania.

2. Modele, symulacje, eksperymenty myślowe

Model to obiekt odwzorowujący inny obiekt. Występujące w modelu odwzorowanie cech i relacji jest prawie zawsze uproszczone³, powinno jednak wystarczyć, aby scharakteryzować oryginał z określonego punktu widzenia.

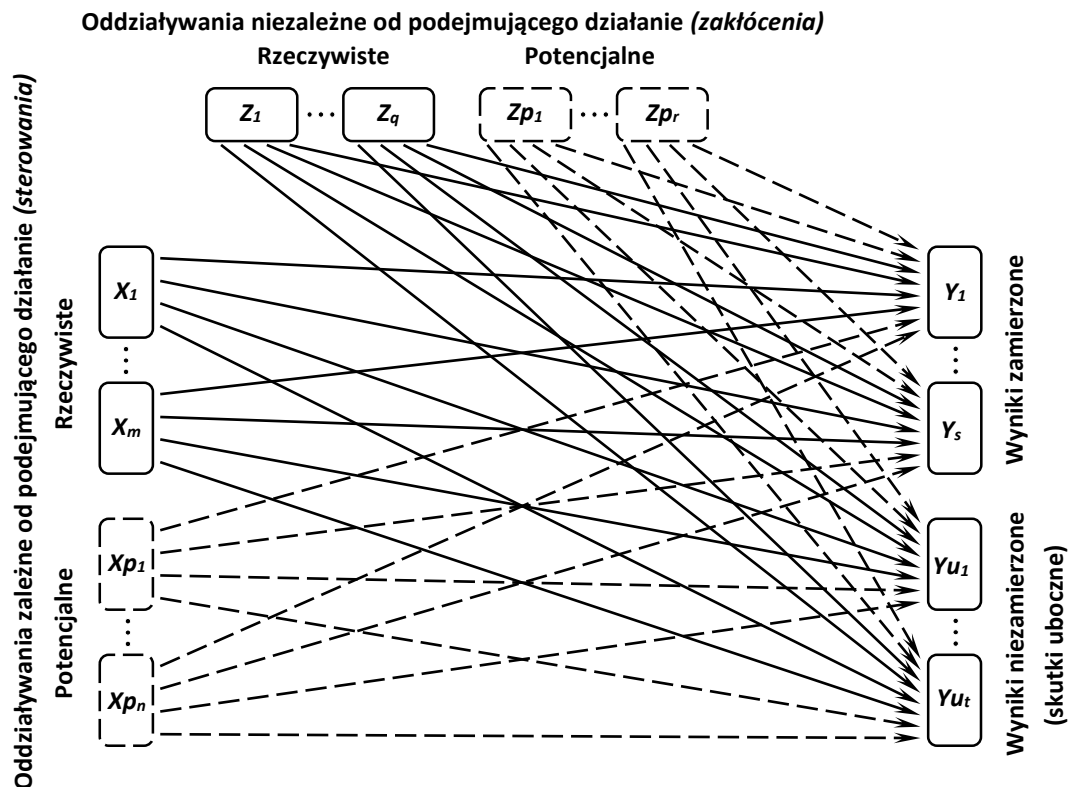
Całokształt czynności związanych z budową modelu, łącznie z badaniami prowadzonymi na nim, nazywa się modelowaniem. Symulacja to badanie wykonywane z użyciem modelu⁴.

Pierwszym etapem budowy modelu przyczynowo-skutkowego jest odwzorowanie struktury zależności pomiędzy oddziaływaniami i wynikami (rys. 1).

W strukturze zależności należy wyróżnić oddziaływania zależne i niezależne od podmiotu podejmującego działanie (rozwiązującego problem). W teorii sterowania oddziaływania te nazywa się odpowiednio sterowaniami i zakłóceniami. Należy jednak zaznaczyć, że oddziaływania niezależne od rozwiązującego problem niekoniecznie powodują skutki oceniane negatywnie. W obydwu zbiorach oddziaływań (sterowaniach i zakłóceniach) występują oddziaływania rzeczywiste i potencjalne. W zbiorze wyników należy wyróżnić wyniki zamierzone oraz wyniki niezamierzone (skutki uboczne), oceniane jako korzystne lub niekorzystne.

³ Odwzorowanie może być dokładne, jeżeli model i oryginał są abstraktami oraz należą do ściśle formalnego systemu (aksjomatycznego).

⁴ Findeisen W. (red.): Analiza systemowa. PWN, Warszawa 1985, s. 292 i nn.



Rys. 1. Model struktury zależności przyczynowo-skutkowych
Źródło: Opracowanie własne.

Często na etapie modelowania struktury zależności przyczynowo-skutkowych popełnia się błąd polegający na nieodróżnianiu zjawisk zależnych i niezależnych od rozwiązującego problem. Na przykład w zarządzaniu przez cele wyniki traktuje się tak, jakby zależały one całkowicie od podmiotu podejmującego działanie. W zadaniach niezbyt trudnych i stosunkowo dobrze przewidywalnych przyjęcie takiego założenia upraszczającego jest dopuszczalne, ale w opisie sytuacji problemowej, charakteryzującej się dużą trudnością i ograniczoną przewidywalnością, konieczne jest rozróżnienie celów całkowicie zależnych od podmiotu rozwiązującego problem (działania, jakie można podjąć) i celów tylko częściowo zależnych (wyniki, jakie zamierza się uzyskać).

Nawet prosty model, przedstawiający jedynie to, od jakich oddziaływań zależy rozpatrywany wynik, może być wartościowym instrumentem wspomagającym eksperymenty myślowe. Eksperymenty myślowe można traktować jako szczególny przypadek badań symulacyjnych. K. Popper wyróżnia eksperymenty krytyczne, heurystyczne i apologetyczne⁵. Szczególnie dużą efektywnością charakteryzują się eksperymenty krytyczne. Nawet pojedynczy eksperyment może wystarczyć dla sfalsyfikowania badanej hipotezy, czyli np. może wykazać nierealność jakiegoś wstępnie sformułowanego wariantu rozwiązania problemu. Duże znaczenia mają też eksperymenty heurystyczne (badawcze). Przeprowadzenie

⁵ Popper K.: Logika odkrycia naukowego. Aletheia, Warszawa 2002, s. 457 i nn.

pewnej serii takich eksperymentów myślowych umożliwia sformułowanie wartościowych hipotez badawczych. Z dużą ostrożnością należy natomiast traktować wyniki eksperymentów określanych jako „apologetyczne” (realistyczne). Eksperymenty myślowe opierają się na uproszczonych modelach rzeczywistości, dlatego uzyskanym wynikom nie można bezkrytycznie przypisywać dużej dokładności i dużej pewności.

Podobne wnioski można sformułować w odniesieniu do wszystkich badań przeprowadzonych z użyciem modelu, czyli badań symulacyjnych.

Wartościową klasę modeli tworzą modele formalne umożliwiające przeprowadzenie symulacji algorytmicznych, najczęściej z użyciem komputera. W modelach takich wszystkie oddziaływania, wyniki i zależności wyników od oddziaływań muszą być scharakteryzowane wyłącznie cechami ilościowymi i logicznymi. Wszystkie zależności i warunki początkowe muszą być wyrażone jawnie i jednoznacznie. Dopuszcza się jednak występowanie zmiennych losowych (pseudolosowych) o określonych rozkładach prawdopodobieństwa. Utworzenie takich modeli nie jest łatwe. Trudności w utworzeniu takiego modelu wynikają między innymi z liczności cech, jakie należy uwzględnić, złożonych zależności pomiędzy cechami oraz niedostępności pomiarowej lub obserwacyjnej wielu parametrów, które charakteryzują oddziaływania niezależne od podmiotu podejmującego działanie i parametrów występujących w równaniach i nierównościach, opisujących zależności między wartościami cech. W modelu trzeba zastosować liczne uproszczenia, polegające między innymi na pominięciu niektórych cech i relacji, uznanych za mniej istotne, przybliżonym przedstawieniu złożonych zależności (np. linearyzacji zależności nieliniowych) oraz szacunkowym (ekspertowym) wyznaczeniu nieznanymi wartości parametrów. Zastosowanie tych uproszczeń i przybliżeń może istotnie zniekształcić obraz rzeczywistych zależności, które odwzorowuje model. Dlatego też wyniki symulacji należy traktować podobnie jak wyniki heurystycznych eksperymentów myślowych, nie przypisując im dużej dokładności i pewności.

Stosowanie komputerowych symulacji badawczych może być uzasadnione zwłaszcza w następujących przypadkach:

- Badanie różnych wariantów zachowania się modelu. W każdym wariacie można zastosować inny podzbiór oddziaływań wybrany ze zbioru potencjalnych oddziaływań, czyli można wybrać inny wariant struktury oddziaływań. Ponadto różna może być intensywność poszczególnych oddziaływań. Tego typu symulacje mają charakter przeszukiwania przestrzeni dopuszczalnych rozwiązań⁶. W wielu przypadkach symulacje takie można realizować nawet przy zastosowaniu prostych, uniwersalnych aplikacji, np. arkusza kalkulacyjnego.

⁶ Michalewicz Z., Fogel D.: Jak to rozwiązać, czyli nowoczesna heurystyka. WNT, Warszawa 2006; Bolc L., Cytowski J.: Metody przeszukiwania heurystycznego. PWN, Warszawa 1991; Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C.: Wprowadzenie do algorytmów. PWN, Warszawa 2012.

- Symulacje uwzględniające czynniki losowe. W modelach sytuacji problemowych wiele oddziaływań i zależności daje się oszacować tylko w przybliżeniu, a błąd oszacowania można traktować jako zmienną losową o określonym rozkładzie prawdopodobieństwa. Analityczne wyznaczenie wrażliwości wyników na wpływ czynników losowych jest trudne. Znacznie łatwiejsze jest przeprowadzenie serii symulacji i sporządzenie histogramów cech ilościowych, charakteryzujących badane wyniki.
- Symulacje dynamiczne. W procesach dynamicznych stan procesu w chwili t_i istotnie zależy od stanu w chwili t_{i-1} . Procesy takie można opisać równaniami różniczkowymi, a w przybliżeniu równaniami różnicowymi. Analityczne rozwiązanie równań, zwłaszcza w przypadku występowania nieliniowości, jest trudne. Efektywną metodą badania takich procesów są symulacje dynamiczne⁷.

3. Dekompozycja złożoności zjawisk

Oddziaływania i wyniki mogą być stanami rzeczy, zdarzeniami, procesami jednostkowymi lub procesami długotrwałymi, których zakończenie nie jest rozpatrywane w danej fazie modelowania.

Stan rzeczy to trwanie rzeczy (wyodrębnionego wycinka rzeczywistości, obiektu) w czasie pod jakimś względem takiej samej. Stałość rzeczy pod jednym względem nie wyklucza zmienności pod innym względem (np. w procesie stacjonarnym). Stan rzeczy można zdekomponować na elementarne stany rzeczy. Elementarny stan rzeczy opisuje zdanie („atomowe”, „bazowe”)⁸:

W obiekcie O cecha C ma wartość W w czasie t .

Wartości cech obiektu nie zawsze są od siebie niezależne (czyli są ze sobą skorelowane) i w takim przypadku można nieraz wyróżnić mniejszy zbiór cech (cech stanu, zmiennych stanu), które wraz ze zbiorem relacji pomiędzy cechami jednoznacznie opisują stan obiektu.

Cechy mogą być cechami logicznymi, ilościowymi lub jakościowymi. Jakość to zespół cech stanowiących o tym, że dany obiekt jest taki, a nie inny. Dlatego też w pewnych przypadkach można z wystarczającą dokładnością zdekomponować cechę jakościową na zespół cech logicznych i ilościowych. W symulacjach algorytmicznych (np. komputerowych) występujące w modelu oddziaływania i wyniki muszą być opisane tylko cechami logicznymi i ilościowymi. Jeżeli w opisie oddziaływań lub wyników występują cechy jakościowe, model może być

⁷ Por. Dohn K., Gumiński A., Matusek M., Zoleński W.: Model wspomaganie zarządzania w zakresie zarządzania wiedzą w polskich przedsiębiorstwach budowy maszyn. Difin, Warszawa 2013, s. 150.

⁸ Sundgren B.: An infological approach to data bases. Skriftserie Statistiska Centralbyran, Stockholm 1973, cyt. za: Stefanowicz B.: Wiedza w interpretacji infologicznej. „Współczesne Problemy Zarządzania”, nr 1, 2012.

wykorzystany jedynie w eksperymentach myślowych. Wartościową formą operowania modelami myślowymi (w tym tzw. archetypami systemowymi) jest myślenie systemowe⁹.

Zdarzenie to zmiana stanu rzeczy, w której stan przejściowy nie ma istotnego znaczenia dla opisu zdarzenia. W szczególności można zignorować opis stanu przejściowego, jeżeli czas jego trwania jest krótki w porównaniu z czasami trwania stanów rzeczy przed i po zajściu zdarzenia.

Proces jednostkowy to zmiana stanu rzeczy zachodząca w pewnym przedziale czasu, przy czym stany przejściowe mają istotne znaczenie dla charakterystyki zjawiska. W większości przypadków proces jednostkowy można z wystarczającą dokładnością przedstawić jako skończony ciąg kolejno następujących po sobie zdarzeń (lub stanów rzeczy) i opisać równaniami różnicowymi. Jest to uniwersalny, ale nie zawsze najbardziej efektywny sposób dekompozycji zjawiska dynamicznego na ciąg (zbiór) zjawisk statycznych.

W procesach długotrwałych zwykle można wyróżnić stany ustalone i nieustalone. Możliwa jest więc dekompozycja na ustalone stany procesu i na procesy jednostkowe. Ustalone stany procesu mogą być stałymi stanami rzeczy lub procesami stacjonarnymi. W procesie stacjonarnym większość istotnych cech charakteryzujących proces jest stała. Przykładem procesu stacjonarnego może być ustalony przepływ strumienia masy lub energii albo proces okresowy o stałym okresie i stałych amplitudach oscylacji. Proces okresowy można zdekomponować na ciąg powtarzających się, takich samych procesów jednostkowych.

4. Charakterystyka oddziaływań, wyników i zależności przyczynowo-skutkowych

W modelach formalnych cechy wszystkich oddziaływań, wyników i zależności muszą być określone jawnie i jednoznacznie. W modelach opisowych (jakościowych), zwłaszcza w początkowej fazie modelowania, wymogi te nie są tak rygorystyczne, ale na etapie szczegółowej analizy modelu bardzo pożądana jest przynajmniej przybliżona charakterystyka niektórych cech.

4.1. Charakterystyka oddziaływań zależnych od rozwiązującego problem

W charakterystyce tych oddziaływań należy uwzględnić między innymi ograniczenia oraz sprzężenia ograniczeń.

⁹ Senge P.M.: Piąta dyscyplina. Teoria i praktyka organizacji uczących się. Wolters Kluwer, 2012; Forester J.W.: System Dynamics, System Thinking, and Soft OR. "System Dynamics Review", Vol. 10, No. 2, 1994.

Ograniczenia w oddziaływaniach statycznych:

- Maksymalna i minimalna wartość cech ilościowych.
- Brak stopniowalności (skalowalności) cech ilościowych. W wielu przypadkach (np. w programowaniu całkowitoliczbowym) zbiór dopuszczalnych wartości cech ilościowych jest zbiorem dyskretnym, skończonym lub nieskończonym.

W oddziaływaniach dynamicznych powinny być ponadto uwzględnione:

- Maksymalny i minimalny czas oddziaływania.
- Maksymalna i minimalna wartość strumieni (oddziaływań w jednostce czasu) oraz maksymalna i minimalna wartość skumulowanych w czasie wartości strumieni (np. zdolności wykonawczych).
- Maksymalna i minimalna szybkość zmian wartości cech ilościowych.

Ograniczenia narzucone na wartości cech ilościowych charakteryzujących poszczególne oddziaływania mogą być od siebie niezależne, ale w wielu wypadkach występują sprzężenia (interakcje) ograniczeń. Najczęściej są to ograniczenia nałożone na sumę wartości cech charakteryzujących różne oddziaływania, np. suma prędkości nie może przekroczyć dysponowanych zdolności wykonawczych. Możliwe są też interakcje innego typu, np. uzależniające dopuszczalność jakiegoś oddziaływania od jednoczesnego lub uprzedniego zrealizowania innych oddziaływań.

Ważną częścią charakterystyki oddziaływań zależnych od podmiotu podejmującego działanie jest wartość nakładów (koszt), jakie trzeba ponieść do ich realizacji. W kosztach charakteryzujących dane działanie należy wyróżnić składową stałą oraz składowe zależne od intensywności i czasu oddziaływania.

4.2. Charakterystyka oddziaływań niezależnych od rozwiązującego problem

Oddziaływania te w znacznej części są słabo przewidywalne i słabo obserwowalne. W odniesieniu do oddziaływań dobrze przewidywalnych można zastosować charakterystyki ograniczeń podobne jak w przypadku sterowań. Należy jednak podkreślić, że ograniczenia te mają inne znaczenie. Z punktu widzenia podmiotu podejmującego działanie korzystne jest, jeżeli ograniczenia występujące w zakłóceniach są silne, a w sterowaniach – słabe.

W badaniach symulacyjnych oddziaływania niezależne od podmiotu podejmującego działanie generowane są przez generatory przebiegów losowych (pseudolosowych). W generatorach tych parametrami, które sterują przebiegami są prawdopodobieństwa wystąpienia określonych wartości cech logicznych i wartości dyskretnych cech ilościowych oraz miary statystyczne wartości cech ilościowych ciągłych, m.in. wartości średnie, odchylenia standardowe, współczynniki korelacji. Najbardziej dokładną charakterystyką przebiegów są rozkłady prawdopodobieństwa – jednowymiarowe i wielowymiarowe. W systemach technicznych często stosowany opis zakłóceń to charakterystyki widma częstotliwościowego, uwzględniające zarówno składowe harmoniczne, jak i nieharmoniczne (szumy).

Celowe jest też oszacowanie strat, ewentualnie korzyści, jakie mogą spowodować oddziaływania niezależne od podmiotu (zakłócenia), m.in. oszacowanie wartości maksymalnych i wartości oczekiwanych. Jeżeli wartość strat lub korzyści spowodowanych przez dane zakłócenie nie ma istotnego znaczenia, można nie uwzględniać tego zakłócenia w modelu.

4.3. Charakterystyka wyników

Najważniejszą częścią charakterystyki wyników jest wartość korzyści związanych z osiągnięciem zamierzonych wyników lub wartość strat spowodowanych przez niekorzystne skutki uboczne. W symulacjach algorytmicznych, zwłaszcza w przypadku badań składających się z licznej serii symulacji, bardzo pożądaną jest algorytmiczne wyznaczenie łącznej wartości (rozumianej jako korzyści podmiotów związanych z sytuacją problemową¹⁰) wszystkich wyników, a także wartości netto, uwzględniającej wartość (koszt) nakładów poniesionych na uzyskanie wyników. Algorytmiczne wartościowanie wyników nie jest jednak łatwe, gdyż wymaga przynajmniej częściowego, przybliżonego odwzorowania systemu wartości podmiotów związanych z sytuacją problemową, a to nie zawsze jest możliwe¹¹. W takiej sytuacji konieczna jest ekspercka ocena wartości wyników dokonywana po przeprowadzeniu każdej symulacji.

Ważną częścią charakterystyki wyników mogą też być ograniczenia narzucone np. na maksymalne lub minimalne wartości cech ilościowych. Należy podkreślić, że ograniczenia nałożone na wyniki istotnie różnią się od ograniczeń występujących w oddziaływaniach zależnych od podmiotu (sterowaniach). W przypadku ograniczeń na sterowaniach nie ma zagrożenia, że zostaną one przekroczone, gdyż ograniczenia te albo uniemożliwiają podjęcie działań powodujących ich przekroczenie, albo ich spełnienie jest łatwe i zależy tylko od podmiotu. Istnieje natomiast zagrożenie przekroczenia ograniczeń nałożonych na wyniki, bowiem wyniki nie są w pełni przewidywalne (wpływ oddziaływań na wyniki nie jest dokładnie znany) i tylko częściowo zależą one od podmiotu podejmującego działanie (wyniki zależą też od zakłóceń). Przekroczenie ograniczeń może spowodować poważne konsekwencje.

4.4. Charakterystyka zależności przyczynowo-skutkowych

W prostych modelach zakłada się liniowe zależności wyników od oddziaływań, tzn.:

$$y_i = y_{i0} + a_{i1} \cdot x_1 + \dots + a_{iq} \cdot x_q + b_{i1} \cdot z_1 + \dots + b_{ir} \cdot z_r \quad i = 1 \dots p,$$

¹⁰ Por. Góralski A. (red.): Zadanie, metoda, rozwiązanie, zbiór 4. WNT, Warszawa 1982, s. 93-95.

¹¹ Szerzej o możliwości algorytmizacji ocen [w:] Zoleński W.: Oceny wielokryterialne w procesach decyzyjnych. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 78. Politechnika Śląska, Gliwice 2015; Matuszek M., Zoleński W.: Selected models of multi-criteria evaluations in the system supporting management in the area of knowledge management. "Information Systems in Management", Vol. 1(4), 2012; Grzegorzczak A.: Psychiczna osobliwość człowieka. Scholar, Warszawa 2003, s. 53.

gdzie:

y_i – i -ty wynik,

x_j – j -te oddziaływanie zależne od rozwiązującego problem (sterowanie),

z_k – k -te oddziaływanie niezależne od rozwiązującego problem (zakłócenie),

a_{ij} , b_{ik} – współczynniki proporcjonalności (wzmocnienia) odpowiednich zależności.

Zależność liniowa jest dobrym przybliżeniem zależności ciągłych i różniczkowalnych, jeżeli rozpatruje się jedynie niewielki obszar zmienności zmiennych. W przypadku zależności nieciągłych (np. pomiędzy cechami logicznymi) lub w przypadku dużych przedziałów zmian wartości zmiennych, konieczne jest uwzględnienie zależności nieliniowych, jednowymiarowych lub wielowymiarowych¹².

Ważnym zagadnieniem jest prawidłowe zdefiniowanie sposobu agregacji wyników cząstkowych w wynik wypadkowy. W przypadku cech ilościowych najczęściej jest to suma, iloczyn, maksymalna lub minimalna wartość w zbiorze wyników składowych. W przypadku cech logicznych najczęściej jest to alternatywa lub koniunkcja.

W wielu przypadkach konieczne jest uwzględnienie dynamicznych właściwości zależności przyczynowo-skutkowych: opóźnień, inercji, kumulacji w czasie.

W modelowaniu sytuacji problemowych bardzo ważną charakterystyką zależności przyczynowo-skutkowych jest ograniczona przewidywalność. Miarą przewidywalności mogą być: prawdopodobieństwo warunkowe osiągnięcia wyniku przy zastosowaniu oddziaływania, maksymalne odchyłki parametrów charakteryzujących zależności przyczynowo-skutkowe lub rozkłady prawdopodobieństwa tych parametrów.

5. Podsumowanie

W prawidłowym zdefiniowaniu sytuacji problemowej podstawowe znaczenie ma staranna analiza struktury zależności przyczynowo-skutkowych, zwłaszcza wyszczególnienie oddziaływań potencjalnych i rzeczywistych, zależnych, częściowo zależnych i niezależnych od rozwiązującego problem. Ważne jest też uwzględnienie wszystkich możliwych wyników, zamierzonych i niezamierzonych. Ograniczona przewidywalność, charakterystyczna dla rozwiązywania problemów, sprawia, że struktura modelowanych zależności może ulegać zmianie. Sytuację taką, gdy w wyniku realizacji jakiegoś zadania pojawiają się nowe okoliczności uzasadniające zastosowanie innych oddziaływań lub dokonanie zmiany zamierzonych wyników, można nazwać „strukturalnym sprzężeniem zwrotnym” (w odróżnieniu od ilościowego sprzężenia zwrotnego, ujemnego lub dodatniego).

¹² Klamka J., Ogonowski Z.: Teoria systemów liniowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.

Dekompozycja i uproszczenie zależności opisujących sytuację problemową umożliwia utworzenie modeli formalnych. Na podstawie modeli formalnych daje się przeprowadzić komputerowe symulacje badawcze. Tego typu symulacje mogą mieć dwa zastosowania. Pierwsze to zbadanie charakterystyk ilościowych (np. kosztów, pracochłonności) różnych wariantów rozwiązań, drugim zaś jest zbadanie możliwości wystąpienia zjawisk trudnych do przewidzenia i trudnych do intuicyjnej interpretacji, występujących zwłaszcza w procesach wymagających uwzględnienia zależności dynamicznych lub wpływu czynników losowych.

Bibliografia

1. Bolc L., Cytowski J.: Metody przeszukiwania heurystycznego. PWN, Warszawa 1991.
2. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C.: Wprowadzenie do algorytmów. PWN, Warszawa 2012.
3. Dohn K., Gumiński A., Matusek M., Zoleński W.: Model wspomaganie zarządzania w zakresie zarządzania wiedzą w polskich przedsiębiorstwach budowy maszyn. Difin, Warszawa 2013.
4. Findeisen W. (red.): Analiza systemowa. Podstawy i metodologia. PWN, Warszawa 1985.
5. Forrester J.W.: System Dynamics, System Thinking, and Soft OR. "System Dynamics Review", Vol. 10, No. 2, 1994.
6. Góralski A. (red.): Zadanie, metoda, rozwiązanie, zbiór 4. WNT, Warszawa 1982.
7. Grzegorzczak A.: Psychiczna osobliwość człowieka. Scholar, Warszawa 2003.
8. Kaczorek T., Dąbrowski W., Dzieliński A.: Podstawy teorii sterowania. PWN, Warszawa 2016.
9. Klamka J., Ogonowski Z.: Teoria systemów liniowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
10. Matusek M., Zoleński W.: Selected models of multi-criteria evaluations in the system supporting management in the area of knowledge management. "Information Systems in Management", Vol. 1(4), 2012.
11. Michalewicz Z., Fogel D.: Jak to rozwiązać, czyli nowoczesna heurystyka. WNT, Warszawa 2006.
12. Popper K.R.: Logika odkrycia naukowego. Aletheia, Warszawa 2002.
13. Senge P. M.: Piąta dyscyplina. Teoria i praktyka organizacji uczących się. Wolters Kluwer, 2012.
14. Skowronek M.: Modelowanie cyfrowe. Opis, algorytmy, środki. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
15. Stefanowicz B.: Wiedza w interpretacji infologicznej. „Współczesne Problemy Zarządzania”, nr 1, 2012.

16. Sundgren B.: An infological approach to data bases. Skriftserie Statistika Centralbyran, Stockholm 1973.
17. Zoleński W.: Determinanty sytuacji problemowych – przegląd i systematyzacja. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 83. Politechnika Śląska, Gliwice 2015.
18. Zoleński W.: Oceny wielokryterialne w procesach decyzyjnych. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 78. Politechnika Śląska, Gliwice 2015.