Janusz R. RAK¹

WYBRANE UWARUNKOWANIA SKUTECZNEGO DZIAŁANIA OPERATORÓW SYSTEMÓW KOMUNALNYCH

Systemy komunalne zaopatrzenia w wodę, gaz ziemny i ciepło przynależą do infrastruktury krytycznej aglomeracji miejskich. Wiąże się to z niezawodnością i bezpieczeństwem ich funkcjonowania. Operatorzy tych systemów są narażeni na różnego rodzaju ryzyko. Sytuacjom kryzysowym towarzyszy deficyt czasu podczas wykonywania operacji decyzyjnych oraz zwiększenie jakości i liczby ich wykorzystania. W związku z tym dużą wagę przykładą się do ergonomiczno-organizacyjnych uwarunkowań działania tych systemów. Scharakteryzowano następujące warunki środowiska pracy: hałas, oświetlenie, promieniowanie, drgania i mikroklimat. Eliminacji błędów decyzyjnych operatora sprzyjają automatyzacja procesów i techniki informatyczne. Strukturalna hierarchia działania wyróżnia trzy poziomy: strategii, procedury i techniki. Przechodzenie od techniki do strategii jest związane z wnioskowaniem indukcyjnym, przechodzenie od strategii do techniki zaś z wnioskowaniem dedukcyjnym. W pracy przeanalizowano również czynniki mające wpływ na skuteczność podejmowanych decyzji. Odniesiono się także do percepcji podejmowania ryzyka przez operatora. Towarzyszy temu stresogenność decyzji operatorskich typu strategicznego, od których zależy bezpieczeństwo ludzi w stopniu bez porównania większym niż podejmowanie decyzji o charakterze rutynowym. Stworzenie operatorowi dogodnych warunków pracy stanowi podstawowy warunek uzyskania wymaganej skuteczności działania całego systemu. Do oceny jakości funkcjonowania operatora można wykorzystywać metody symulacyjne i analityczne.

Słowa kluczowe: systemy komunalne, człowiek, technika, środowisko

1. Wprowadzenie

Systemy komunalne zaopatrzenia w wodę, ciepło i gaz ziemny przynależą do infrastruktury krytycznej aglomeracji miejskich [1, 2]. Operatorzy nimi kierujący muszą przykładać szczególną uwagę do niezawodności i bezpieczeństwa ich funkcjonowania.

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Janusz R. Rak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 8651449, e-mail: rakjan@prz.edu.pl

Wielkościami charakteryzującymi jakość procesów decyzyjnych, od których zależy ich skuteczność, są:

- czas wykonywania,
- jakość wykonywania.

W sytuacjach kryzysowych obowiązuje zasada, zgodnie z którą istnieje potrzeba skracania czasu wykonywania operacji decyzyjnych oraz zwiększania jakości ich wykorzystania. We współczesnych systemach technicznych infrastruktury krytycznej podstawowym realizatorem procesów decyzyjnych jest człowiek – operator systemu [3, 4]. Jego wszelkie możliwości są skończone i zarazem ograniczone w zakresie odbioru i przetwarzania informacji. Obecnie pojawiła się możliwość komputerowego wspomaganie operacji podejmowania decyzji.

Jednakże, pomimo systematycznego wzrostu poziomu i zakresu komputerowego wspomaganie procesu decyzyjnego, ostateczną decyzję o sposobie realizacji działań podejmuje operator [1, 5]. Pożądanym trendem podnoszenia efektywności podejmowania decyzji wydaje się być automatyzacja tych procesów, ale jeszcze długo nie będzie to proces pełny [6, 7]. Obecny stan nauki i techniki niewątpliwie zmienia rolę człowieka w procesie decyzyjnym, ale jeszcze nie umożliwia jego wyeliminowania. Rozwój informatyki zmniejsza obciążenia operatora związane np. z obliczeniami, a tym samym zmienia jego rolę i predyspozycje w procesie decyzyjnym.

Dużą wagę przykładają się do ergonomiczno-organizacyjnych uwarunkowań działania operatorów [2, 8]. Prowadzi to do ponownego przeglądu metod i wymagań związanych ze środowiskiem materialnym i warunków pracy operatora [2, 4].

Celem pracy jest analiza wybranych czynników skutecznego działania osób na stanowiskach kierowniczych – operatorów systemów komunalnych przynależnych do infrastruktury krytycznej miast, takich jak zaopatrzenie w wodę, ciepło i gaz ziemny.

2. Warunki środowiska pracy

Hałas na stanowisku pracy operatora

Operator na stanowisku pracy jest narażony na hałas, którego źródłem jest np. praca urządzeń klimatyzacyjnych, wentylacja urządzeń, praca drukarek, rozmowa przez telefon. Miarą głośności dźwięku jest poziom natężenia hałasu wyznaczany z zależności:

$$L = 10 \lg \frac{p^2}{p_o^2} \text{ [dB]} \quad (1)$$

gdzie: p – wartość ciśnienia akustycznego [Pa],

p_o – progowa wartość ciśnienia akustycznego równa 20 μPa .

Na rysunku 1. pokazano wpływ czasu pracy na koncentrację uwagi operatora przy natężeniu hałasu 60 i 90 dB.

Rys. 1. Wpływ hałasu na koncentrację uwagi operatora

Fig. 1. Noise influence on the concentration of the operator's attention

Badania wskazały, że ze względów zdrowotnych poziom hałasu w ciągu 8-godzinnej pracy nie powinien przekraczać 85 dB. Ze względu na rodzaj i charakter pracy operatora natężenie hałasu w pomieszczeniu jego pracy nie powinno przekraczać 55 dB, a zalecany poziom to 40 dB [9].

Oświetlenie na stanowisku pracy operatora

Oświetlenie może być naturalne (dienne) i sztuczne. Natężenie oświetlenia przy pracach średniotrudnych i średniodługotrwałych wykonywanych przez operatora powinno wynosić 300÷500 lx. Jeżeli praca jest zaliczana do trudnych i długotrwałych, to oświetlenie powinno spełniać warunek 500÷1000 lx [10].

Równomierność oświetlenia uzyskuje się poprzez światło rozproszone. Oświetlenie takie pozwala na uniknięcie powstawania cieni. Uniknięcie olśnienia jest związane z usytuowaniem źródła światła – czym wyżej linii oczu, tym korzystniej.

Mikroklimat na stanowisku pracy operatora

Na mikroklimat ma wpływ wilgotność, temperatura i skład powietrza. Wilgotność względna powietrza powinna wynosić 40÷60%. Klimatyzacja i centralne ogrzewanie powodują wysuszanie powietrza, co wpływa niekorzystnie na drogi oddechowe człowieka. Prędkość ruchu powietrza w pomieszczeniach

z komputerowymi stanowiskami pracy nie powinna przekraczać $0,1 \div 0,15$ m/s. Zachowanie komfortu cieplnego w pomieszczeniach zimą wymaga temperatury $20 \div 24^{\circ}\text{C}$, a latem $22 \div 25^{\circ}\text{C}$.

Promieniowanie

Oddziaływanie promieniowania elektromagnetycznego na operatora zależy od natężenia promieniowania i czasu jego trwania. Przebywanie operatora w polu elektromagnetycznym powoduje dolegliwości zdrowotne w postaci: bólu głowy, rozdrażnienia, bezsenności i ogólnego przemęczenia oraz zmiany w pracy soczewek oczu.

Drgania (wibracje) na stanowisku pracy operatora

Drgania są ważnym czynnikiem środowiskowym, ponieważ wpływają na realizację zadań przez operatora. Źródłem drgań mogą być np. silniki, wentylatory, które pracują w pomieszczeniu pracy operatora lub poza nim. Najbardziej niekorzystne oddziaływanie zdrowotne mają już wibracje o niewielkiej amplitudzie i częstotliwości rzędu $4 \div 8$ Hz. W tym przedziale znajdują się częstotliwości rezonansowe takich części ciała, jak głowa i tors. Objawem negatywnych skutków drgań jest rozdrażnienie, zmęczenie, senność i zaburzenia psychomotoryczne.

Miejsce pracy operatora

Miejsce pracy powinno zapewnić operatorowi odpowiedni odbiór informacji napływających z zewnątrz (z systemu), a także ich odpowiednie wprowadzenie. Podstawową zasadą stanowiska pracy operatora jest ograniczenie do minimum ruchów głową i w niewielkim stopniu oczu. Wymagania te spełnia pulpit o szerokości 110 cm i głębokości 105 cm.

Wyróżnia się cztery obszary rozmieszczenia urządzeń do wprowadzania i odbioru informacji przez siedzącego operatora. Obszary te są symetryczne i wzajemnie się na siebie nakładają (na czwarty – trzeci, na trzeci – drugi i na drugi – pierwszy):

- obszar I o wymiarach 60×50 cm,
- obszar II o wymiarach 70×70 cm,
- obszar III o wymiarach 90×90 cm,
- obszar IV o wymiarach 110×105 cm.

W obszarze I umieszcza się podstawowe, najczęściej używane urządzenia, w obszarze II – urządzenia alarmowe i drugorzędne urządzenia do odbioru i wprowadzania informacji. W obszarze III umieszcza się pozostałe drugorzędne urządzenia, a obszar IV wyznacza maksymalne rozmieszczenia urządzeń pracy operatora. Na rysunku 2. pokazano obszary związane z manualną pracą operatora na stanowisku dowodzenia.

Rys. 2. Obszary pracy operatora
Fig. 2. Areas of the work operator

3. Wybrane czynniki jakości pracy operatora

Konsekwentne wdrażanie osiągnięć ergonomii w projektowaniu maszyn i urządzeń oraz stanowisk pracy przynosi konkretne efekty. Im cechy techniki są bardziej przystosowane do przeciętnych możliwości człowieka, tym większa jest liczba osób mogących sprostać wymaganiom obsługi maszyn i urządzeń. Ważnym czynnikiem pracy operatora jest czas jego reakcji na oddziałujące bodźce. W tabeli 1. przedstawiono stosowne oszacowania liczbowe [9].

Tabela 1. Czas reakcji operatora na różne rodzaje bodźców

Table 1. The operator response time for different types of stimuli

Rodzaj bodźca	Czas reakcji [s]
Ciepło i chłód	0,28÷1,60
Dźwięk	0,12÷0,18
Światło	0,15÷0,22
Ból	0,13÷0,89
Dotyk	0,09÷0,22
Smak słony	0,31
Smak słodki	0,45
Smak kwaśny	0,54
Smak gorzki	1,08

Wrażenia słuchowe, smakowe i węchowe są odbierane niezależnie od woli człowieka, a pozostałe zależą w znacznym stopniu od jego woli. Zakres pracy operatora jest zależny w znacznym stopniu od właściwego usytuowania urządzeń informacyjnych (UI) i urządzeń sterujących (US) [11].

Wzajemne powiązania przedstawiają się następująco:

- UI i US, których użycie ma decydujący wpływ na wykonanie zadania, powinny znajdować się w miejscu najbardziej dogodnym do obserwacji i obsługi,
- UI i US spełniające jednakowe funkcje należy lokalizować blisko siebie.

Częściej używane UI i US powinny być rozmieszczone w polu centralnym, a rzadziej używane – w polach bocznych.

Wyróżnia się trzy podstawowe zachowania operatora i skorelowane z nimi błędy:

- zachowania oparte na zachowaniach rutynowych – błędy mają charakter sensomotoryczny,
- zachowania oparte na zachowaniach w dobrze znanych sytuacjach – błędy polegają na stosowaniu zasad nieadekwatnych do zaistniałych sytuacji,
- zachowania oparte na posiadanej wiedzy i wiążące się z wyselekcjonowaniem sposobów działania adekwatnych do sytuacji – błędy w tym przypadku polegają na błędnej analizie sytuacji, co skutkuje przyjęciem błędnych sposobów działania.

W ramach strukturalnej hierarchii działania wyróżnia się trzy poziomy:

- strategii,
- procedury,
- techniki.

Przechodzenie z danego poziomu do innego jest związane z wnioskowaniem [12]. Przechodzenie między poziomami od techniki, poprzez procedury, do strategii jest związane z algorytmami wnioskowania indukcyjnego, natomiast przemieszczanie się w dół hierarchii – z algorytmami wnioskowania dedukcyjnego. Działania operatora niejednokrotnie odbywają się w sytuacjach szczególnych (nietypowych), zwanych ekstremalnymi [13]. Podział w tym zakresie przedstawia się następująco:

- krótkotrwałe sytuacje ekstremalne – znaczące zagrożenie przy deficycie czasu i związany z tym „wybór mniejszego zła”,
- długotrwałe sytuacje ekstremalne – związane z długotrwałymi zagrożeniami i trudnymi warunkami, np. fizycznymi lub emocjonalnymi pracy operatora,
- ekstremalne nowości połączone z deficytem czasu – operator w zupełnie nieznanym mu nowych warunkach musi podjąć jednoznaczną decyzję przy limicie czasowym,
- krytyczne sytuacje ekstremalne – w skrajnie złożonej trudnej i niebezpiecznej sytuacji operator podejmuje decyzję, której efektem jest alternatywa „sukces” albo „porażka”.

Możliwości popełnienia błędu przez operatora wymuszają odpowiedzi na pytania:

1. Jakie są przyczyny?

2. Jak opisać warunki, w których popełniono błąd?

3. Jak zapobiegać błędnym decyzjom?

Z działalnością operatorską są związane różne wywody dotyczące błędu, a mianowicie: błąd jest działaniem odbiegającym w jakikolwiek sposób od działania prawidłowego wyznaczonego przez obowiązujące zasady i reguły wymogów bezpieczeństwa i innych względów tzw. „zdrowego rozsądku”. Przyczyny błędów wynikają z:

- ograniczeń wydolności mózgu człowieka,
- ograniczeń w przetwarzaniu informacji.

W pierwszym przypadku wynika to z losowych oscylacji neuronów w sieciach neuronowych, w drugim – z ograniczeń pamięci krótkotrwałej. Nie bez znaczenia są nabyte zbyt sztywne stereotypy, które uruchamiają się w warunkach niedoboru czasu lub nacisku. Podejście to preferuje procedury treningowe, które zapobiegają powstawaniu sztywnych stereotypów.

Operator złożonego układu podejmuje wiele decyzji ryzykownych. Każdą sytuację decyzyjną można opisać poprzez następujące charakterystyki:

- niepewność,
- ryzykowność,
- probabilizm,
- stresogenność.

Skuteczność wyniku podjętej decyzji ogólnie zależy od dwóch czynników:

- obiektywnego stanu rzeczy, na którego wystąpienie operator zasadniczo nie ma wpływu,
- wybranej przez operatora alternatywy działania.

Z takiego punktu widzenia błędy polegają na:

- operowaniu zbyt uproszczoną funkcją użyteczności (pominięcie ważnego czynnika w ocenie użyteczności),
- nieumiejętności analizy zależności pomiędzy alternatywami działań a stanami rzeczy.

Błędy związane z przetwarzaniem informacji można podzielić na dwie kategorie:

- wynikające z tendencji do konserwatyzmu w pierwszych etapach procesu poznawczego (niedoceniające sygnałów),
- wynikające z tendencji do radykalizmu w końcowych etapach procesu poznawczego (przeceniające sygnały niosące informację).

Osobną grupę stanowią błędy związane ze stresogennością sytuacji decyzyjnej. Stresogenność decyzji operatorskich typu strategicznego, od których zależy bezpieczeństwo lub życie wielu ludzi, jest bez porównania większa niż podejmowanie decyzji w sytuacjach dnia codziennego o charakterze rutynowym [14].

Ważnym czynnikiem stresogennym podejmowania decyzji jest ryzyko wystąpienia zdarzenia niepożądanego. Wyniki różnych badań nad percepcją ryzyka wskazują na następujące najważniejsze czynniki:

- katastroficzność i chroniczność szkód – zdarzeniom katastroficznym przypisuje się większe ryzyko niż chronicznym zdarzeniom niepożądanym (katastrofie lotniczej przypisuje się większe ryzyko niż wypadkowi samochodowemu); dane statystyczne pokazują, że w ciągu roku ginie więcej ludzi w wypadkach samochodowych niż w wypadkach lotniczych,
- bezpośredniość i opóźnienie konsekwencji – zarówno szkody, jak i szanse (korzyści) mogą pojawić się natychmiast lub być odroczone w czasie; człowiek preferuje natychmiastową lub krótkoterminową szansę, a w przypadku szkody odroczone w czasie ich pojawienie się,
- dobrowolność narażania się na ryzyko – człowiek ma poczucie osobistego wpływu na bieg wydarzeń i w związku z tym jest w stanie zaakceptować ryzyko nawet 100 razy większe niż w sytuacji narzuconych zadań,
- poziom wzbudzonego lęku – osoby o podwyższonym poziomie lęku oceniają znacznie wyżej ryzyko zagrożeń niż osoby o niskim poziomie lęku.

4. Podsumowanie

Operatorzy systemów komunalnych mają do czynienia z różnego rodzaju ryzykiem związanym ze zdarzeniami niepożądanymi, takimi jak: incydent, anomalia, wypadek, awaria, poważna awaria, a nawet katastrofa [4, 5, 13].

W miarę wzrostu poziomu i zakresu technik informatycznych i automatyzacji w funkcjonowaniu systemów technicznych od operatora w coraz większym stopniu wymaga się nie tylko znajomości mechanizmów procesów eksploatacyjnych, ale także znajomości i umiejętności sprawnej obsługi wspomagających go środków teleinformatycznych. Środki te to komputery wyposażone w urządzenia zewnętrzne umożliwiające operatorowi pozyskiwanie informacji do wykonania obciążających go zadań oraz przekazywanie decyzji do wykonania. Wymagane jest permanentne doskonalenie umiejętności w tym zakresie.

Stworzenie operatorowi dogodnych warunków pracy stanowi podstawowy warunek uzyskania wymaganej skuteczności działania całego systemu. Skuteczność działania operatora systemu można także oceniać przez pryzmat jakości realizowanych zadań przez system jako całość.

Przedmiotem ergonomii jest badanie relacji pomiędzy człowiekiem a techniką celem doskonalenia przystosowania techniki do właściwości człowieka. Niezawodność pracy operatora określa się jako zdolność do wykonywania powierzonych mu zadań z minimalnym ryzykiem popełnienia błędu w określonych warunkach jego pracy i w zadanym przedziale czasowym. Z przytoczonej definicji wynika, że należy brać wówczas pod uwagę środowisko pracy operatora.

Jedną z aktywności operatora są czynności związane z funkcją kierowniczą. Wyróżnia się czynności eksploatacyjne i twórcze. Pierwsze oznaczają, że należy dążyć do perfekcji działania, drugie zaś stwarzają możliwości kreowania no-

wych oryginalnych rozwiązań, szczególnie dotyczących sytuacji ekstremalnych (np. katastrofy, ataki terrorystyczne).

Aktywność operatora jest związana z doświadczeniem wykonawczym i czynnościami kontrolnymi. Skorelowane jest to z myśleniem obrazowo-abstrakcyjnym. W sytuacjach zagrożeń operatorowi towarzyszy „stres czasowy” i konieczność „filtrowania” różnorodnych informacji. Operator na pojawienie się zagrożeń powinien być przygotowany, a przede wszystkim być ich świadomy. Do oceny jakości funkcjonowania operatora można wykorzystywać metody symulacyjne i analityczne.

Literatura

- [1] Iwanejko R., Lubowiecka T.: Analiza ryzyka jako narzędzie planistyczno-decyzyjne w wodociągach. Mat. konf. VI Międzynarodowej, XVIII Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydaw. PZITS O/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 547-558.
- [2] Rak J.: Ryzyko w funkcjonowaniu operatora SZW – analiza ergonomiczna. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 6, 2003, s. 211-214.
- [3] Wieczysty A., Lubowiecka T., Iwanejko R.: Człowiek – dyspozytor systemu jako element wpływający na jego bezpieczeństwo. Bezpieczeństwo i niezawodność działania systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych i centralnego ogrzewania. Konferencja Naukowo-Techniczna. PZITS O/Kraków, Zakopane 1997, s. 7-22.
- [4] Wieczysty A., Lubowiecka T., Iwanejko R.: Niezawodność człowieka w biotechnicznym systemie zaopatrzenia w wodę. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. PZITS O/Poznań, Poznań 1998, s. 9-22.
- [5] Iwanejko R., Lubowiecka T.: Ryzyko w podejmowaniu decyzji w systemach zaopatrzenia w wodę. Mat. konf. XVII Krajowej Konferencji „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydaw. PZITS O/Wielkopolski, Gdańsk, Poznań 2002, s. 1043-1054.
- [6] Iwanejko R., Lubowiecka T.: Ryzyko produkcyjne, jako element wspomagający podejmowanie decyzji. Mat. konf. „Strategie zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie”. Bydgoszcz 2004, s. 321-330.
- [7] Iwanejko R., Bajer J., Lubowiecka T.: Uaktualnienie decyzji w systemie zaopatrzenia w wodę na podstawie dodatkowych informacji. Mat. konf. IV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Postęp w inżynierii środowiska”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006, s. 63-74.
- [8] Tytyk E.: Ergonomia w projektowaniu stanowisk pracy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
- [9] Kołodziński E.: Komputerowe wspomaganie procesów informacyjno-decyzyjnych ratownictwa. Mat. konf. „Zarządzanie kryzysowe – Ratownictwo w sytuacjach kryzysowych”. Wydaw. Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2004, s. 165-175.
- [10] PN-E-02033: Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym.
- [11] Donigiewicz A.: Modelowanie interakcji człowiek-komputer. Problemy oceny jakości i niezawodności. Wydaw. IAI R, Warszawa 2002.

- [12] Rak J., Boryczko K.: Sposób oceny niezawodności operatora SZW metodą drzewa zdarzeń z możliwością poprawy popełnionego błędu. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 9, 2009, s. 47-49.
- [13] Rak J., Boryczko K.: Odporność systemu zaopatrzenia w wodę na współczesne zagrożenia terrorystyczne. *Mat. XXXVII Zimowej Szkoły Niezawodnościowej*. Wydaw. Politechniki Warszawskiej, Szczyrk 2009.
- [14] Rak J.: Rozważania na temat błędów pierwszego i drugiego rodzaju w aspekcie zaopatrzenia w wodę. *Instal*, nr 6, 2009, s. 45-49.

SELECTED CONDITIONS OF EFFECTIVE ACTION OF MUNICIPAL SYSTEM OPERATORS

Summary

Municipal systems of water supply, natural gas and heat belong to critical infrastructure of the urban areas. This is due to the reliability and safety of their operations. The operators of these systems are exposed to various risks. Crisis is accompanied by deficit of time during execution of the decision-making and increase the quality and quantity of their use. Therefore, great importance is attached to the ergonomic – organizational conditions of operation of these systems. The following environmental conditions: noise, light, radiation, vibration and microclimate were characterized. Elimination of operator errors is caused by process automation and information technology. Structural hierarchy defines three levels of action: strategies, procedures and techniques. The transition from technology to strategy is related to inductive inference. The transition from strategy to technology is accompanied by deductive reasoning. The paper analyzes the factors that influence the effectiveness of the decision. Reference was made also to the perception of risk taking by the operator. Stress ability is accompanied by a strategic decision operator, on which depends the safety of people in vastly greater extent than to decide in routine. The creation of favorable conditions for the operator to work is a prerequisite for obtaining the required performance of the whole system. To assess the quality of the operator simulation methods and analytical can be used.

Keywords: municipal systems, man, technology, environment

DOI:10.7862/rb.2013.68

Przesłano do redakcji: 06.05.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.