

**СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ФАКТІВ ЯК ЗАСІБ РЕПРЕЗЕНТАЦІЇ  
ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ**

**Метою статті** є виклад результатів розробки формальної структурно-логічної моделі фактів як однієї з форм подання знань в системах штучного інтелекту. В роботі розглядається використання форм подання професійних знань для автоматизації прийняття управлінських рішень в нормальних і кризових ситуаціях в енергосистемах. Здійснюється обґрунтування використання формально-лінгвістичного підходу до подання знань у вигляді фактів в системах підтримки рішень при зазначенні характеристик електротехнічного обладнання енергосистем. Структурно-логічна модель, яка пропонується, може використовуватися при реалізації логічного висновку. Теоретична розробка і практичне впровадження моделі фактів як засобу репрезентації характеристик компонентів електроенергетичних систем в системах підтримки рішень є актуальною науковою проблемою.

У роботі використані **методи** теорії множин, математичної логіки, формальної лінгвістики, електроенергетичних систем, теорії графів, математичної статистики.

**Наукова новизна** полягає у новій моделі подання професійних знань у вигляді фактів, яка спирається на еволюційне наслідування онтології подання знань як атомарних висловлювань. Це дає можливість їх ієрархічного узагальнення, застосування єдиних евристик до різних структур представлення знань. Розроблені моделі, підходи і методики інваріантні по відношенню до професійних галузей і мають високий ступінь універсальності. Запропоновано єдиний системно-діалектичний підхід до подання та аналізу знань. Розроблено єдині евристики стосовно як до окремих компонентів знань, так і їх мережевих структур.

**Практична значимість** роботи полягає у вдосконаленні автоматизації керування промисловими об'єктами шляхом впровадження запропонованої моделі подання знань у вигляді фактів в практику побудови баз знань при ліквідації кризових ситуацій в електроенергетичних системах. Ця обставина дозволить скоротити збитки і підвищити якість управління обладнанням і технологічними процесами промислових об'єктів.

**Результатами роботи** є єдиний системно-діалектичний підхід до інкорпорації подання професійних знань. Запропонована структурно-логічна модель фактів як засіб репрезентації характеристик компонентів електроенергетичних систем, яка являє собою структурну компоненту загальної ієрархічної системи подання професійних знань. Розроблена формальна модель подання фактів на рівні графів і рівні формального мовлення. Створена формальна модель онтології, яка регламентує механізм побудови баз знань декларативного характеру. Показано приклад практичного професійного застосування розроблених математичних моделей.

**Ключові слова:** енергосистема, формальна лінгвістика, факт, онтологія, евристика, база знань, інкорпорація

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-136-141

**Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Керування великими промисловими об'єктами, якими є електроенергетичні системи, пов'язане з обробкою великої кількості оперативної інформації. У зв'язку зі значними витратами часу на обробку даних значно ускладнюється подання в інформаційних системах (АСДУ) характеристик компонентів електроенергетичного обладнання.

В останні роки досягнуто суттєвих результатів у розвитку методів інтелектуалізації управління і евристичного аналізу станів обладнання і режимів енергосистем. Основними теоретичними платформами є методи систем штучного інтелекту, теорії розпізнавання образів, планування експериментів, формальних систем і числень. Ідея спільного рішення проблеми забезпечення режиму енергосистеми полягає в тому, що основна маса вихідної схемно-режимної інформації обробляється попередньо, а оперативні дії, що управляють, визначаються за допомогою відносно простих швидких алгоритмів на основі даних про параметри обладнання і електричних мереж.

Таким чином, є актуальною проблема обробки значних об'ємів інформації о параметрах і станах обладнання енергосистем. Однією з ефективних форм представлення структурної семантики при описі обладнання є факти. Тому важливим завданням є розробка структурно-логічної моделі фактів як засобу репрезентації характеристик компонентів електроенергетичних систем. Вирішення цієї проблеми безпосередньо має зв'язок з науковими і практичними завданнями розпізнавання аварійної ситуації та її класифікації, визначення місць докладання управлінських впливів, визначення дозування диспетчерських впливів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Під фактами, як формами подання знань, в різних науко-

вих і практичних роботах з штучного інтелекту маються на увазі структурні формальні подання [1]. У деяких роботах факти виступають синонімами висловлювань, а в інших - мають деякі складові або предикативні форми [2 - 4]. Значенням факту в більшості контекстів є або брехня, або істина. Факти, як форми організації інформації, характерні для баз даних і мережевих моделей. Вони можуть розглядатися в якості декларативного компонента бази знань, на відміну від процедурного компонента – евристик [5, 6].

У загальному випадку, в більшості робіт приймається, що факт є деякий запис, який, в залежності від контексту, може розглядатися або як цілісний концепт, або як структура. Як приклад факту можна навести структуру семантичного триплета: об'єкт - атрибут – значення [1]. По відношенню до фактів можуть бути реалізовані процедури порівняння цілком, часткового порівняння, перевірки на істинність і інші [7]. Факти дозволяють описувати найпростіші структури і їх властивості. В [1] наведені приклади опису фактів у вигляді предикативних форм або у вигляді логічних правильно побудованих формул, що включають квантори спільності та існування.

**Постановка завдання.** В роботі розглядається проблема подання знань в системах підтримки рішень при управлінні режимами електроенергетичних систем. В області зазначеної проблеми важливим питанням є подання інформації про структуру і властивості електротехнічного обладнання. Такі дані можуть формуватися по-різному. Одним з найбільш практично значимих формалізмів є факти. Вони дозволяють адекватно представляти структуру фізичних об'єктів енергосистем практично необмеженої складності і їх властивості. Тому завданням дослідження є розробка формальної структурно-логічної моделі подання фактів в рамках загальної формальної системи подання знань в системі підтримки рішень.

**Викладення матеріалу та результати.** Введемо правило формування елементарного факту: елементарний факт  $f$  – це триплет атомарних висловлювань, що розглядається як ізольований оргграф при будь-яких операціях в рамках діючої формальної системи.

При інтерпретації фактів кожне атомарне висловлювання розглядається як одна лінгвістична константа або значення лінгвістичної змінної при будь-яких операціях в рамках діючої формальної системи.

Під активізацією або актуалізацією факту будемо розуміти внесення факту (або його ідентифікатора) в контрольовану область пам'яті («дошку оголошень») для його участі в операціях інтелектуальної системи.

Для отримання фактів необхідно утворити трійки пов'язаних атомарних висловлювань і розглядати їх як атомарних висловлювань поточного шару репрезентації фактів. Таким чином, необхідно спочатку сформулювати елементарну атомарному онтологію одного факту, на основі якої потім побудувати онтологію бази фактів в цілому. Визначимо множини концептів для моделі елементарного факту. Основний кінцевий термінальний алфавіт символів атомарних висловлювань було визначено в такий спосіб

$$\Sigma = A_l = \{\varepsilon\} \cup A_l \cup A_d \cup A_s \cup A_p \cup A_{sl} \cup A_{ab}, \quad (1)$$

де  $A_l \cup A_d \cup A_s \cup A_p \cup A_{sl} \cup A_{ab}$  – множини символів специфічних професійних алфавітів.

При побудові фактів необхідно користуватися тільки атомарними висловлюваннями, побудованими на даному алфавіті (наприклад, для  $c_i$ -го контексту

$$S^{c_j} = \{s_k^{c_j} \mid k = 1, n_s\}, \quad (2)$$

де  $n_s$  – кількість атомарних висловлювань  $c_j$ -го контексту.

Графічно модель елементарного факту  $f_i$  для контексту  $c_j$  представимо як оргграф (далі - граф) наступного вигляду (рис. 1).

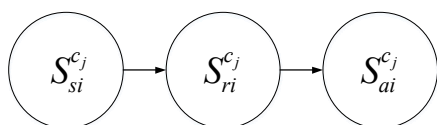


Рис. 1. Графічна модель факту  $f_i$

На рисунку позначені:  $S_{si}$  – атомарне висловлювання - джерело відносини,  $S_{ri}$  – атомарне висловлювання - відношення,  $S_{ai}$  – атомарне висловлювання - приймач відносини.

Іншими словами, представимо факт кортежем (3)

$$f_i^{c_j} = \langle S_{si}^{c_j}, S_{ri}^{c_j}, S_{ai}^{c_j} \rangle \quad (3)$$

або в теоретико-множинній інтерпретації

$$f_i^{c_j} = \{S_{si}^{c_j}, S_{ri}^{c_j}, S_{ai}^{c_j}\}.$$

Підмножина фактів  $F^{c_j}$ , які відносяться до контексту  $c_j$ , загальної множини фактів  $F$  буде представлено в такий спосіб

$$f_i^{c_j} \in F^{c_j}, F^{c_j} \subseteq F. \quad (4)$$

Причому  $f_i^{c_j} = \{s_{si}^{c_j}, s_{ri}^{c_j}, s_{ai}^{c_j}\}$ , де  $s_{si}^{c_j} \in S^0, s_{ri}^{c_j} \in S^0, s_{ai}^{c_j} \in S^0$ .

На основі заданої теоретико-множинної моделі елементарного факту формалізуємо його графову модель [8-10].

Елементарний факт  $f_i$  в загальному вигляді можна представити графом

$$G_i^f = \{V(G)_i^f, A(G)_i^f\}, \quad (5)$$

де  $V(G)_i^f = f_i^{c_j}$  – множина атомарних висловлювань, що утворюють факт,  $f_i^{c_j} = \{s_{si}^{c_j}, s_{ri}^{c_j}, s_{ai}^{c_j}\}$ ,  $|V(G)_i^f| = 3$ ;  $A(G)_i^f$  – множина дуг (зв'язків) факту,  $|A(G)_i^f| = 2$ .

Крім того, введемо для факту особисту інтерпретацію проходження вершин, яка залежить від умов завдання і, в загальному випадку, може бути довільною [8]:

$$I^f = (P_s^f, P_e^f), \quad (6)$$

де  $P_s^f$  – інцидентор стартових висловлювань дуг фактів  $P_s^f(s_{si}^{c_j}, s_{ri}^{c_j}) = s_{si}^{c_j}$  і  $P_s^f(s_{ri}^{c_j}, s_{ai}^{c_j}) = s_{ri}^{c_j}$ ;  $P_e^f$  – інцидентор кінцевих висловлювань дуг фактів  $P_e^f(s_{si}^{c_j}, s_{ri}^{c_j}) = s_{ri}^{c_j}$  і  $P_e^f(s_{ri}^{c_j}, s_{ai}^{c_j}) = s_{ai}^{c_j}$ .

Тепер можна дати загальну формальну модель графа елементарного факту (7)

$$G_i^f = \{V(G)_i^f, A(G)_i^f, I^f\}, G_i^f = \{V(G)_i^f, A(G)_i^f, P_s^f, P_e^f\}. \quad (7)$$

Так як інтерпретація семантики фактів залежить від контексту, то при формуванні формальної мови необхідний облік груп (класів) контекстів. Визначимо множину контекстів для інтерпретації фактів

$$C^f = \{c_i \mid i = 1, n_c\}, \quad (8)$$

де  $n_c$  – кількість контекстів (предметних областей).

Множина класів контекстів

$$G^{fc_i} = \{g_m^{fc_i} \mid m = 1, n_g\},$$

де  $n_g$  – кількість класів контекстів.

Тоді підмножина елементарних фактів бази знань інтелектуальної системи, пов'язаних з  $c_i$ -м контекстом

$$F^{c_i} = \{f_k^{c_i} \mid k = 1, n_f\}, F^{c_i} \subset F,$$

де  $n_f$  – кількість елементарних фактів, пов'язаних з  $c_i$ -м контекстом.

З огляду на класифікацію фактів на підмножини  $F^{c_i}$ , за ознаками (контекстами)  $g_m^{fc_i}$  можливо записати

$$F^{c_i} = \{\{F_{1g_m^{c_i}}^{c_i}\}, \{F_{2g_m^{c_i}}^{c_i}\}, \dots, \{F_{mg_m^{c_i}}^{c_i}\}, \dots, \{F_{n_g g_m^{c_i}}^{c_i}\}\}, \quad (9)$$

де  $\{F_{mg_m^{c_i}}^{c_i}\}$  – клас фактів, що відповідають класифікаційній ознаці  $g_m^{c_i}$ .

Якщо прийняти, що всі елементарні факти не мають дублікатів, то властивості шару елементарних фактів БЗ повинні бути наступними

$$F^{c_i} = F_{1g_m^{c_i}}^{c_i} \cup F_{2g_m^{c_i}}^{c_i} \cup \dots \cup F_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \cup \dots \cup F_{n_g g_m^{c_i}}^{c_i} = \bigcup_{m=1}^{n_g} F_{mg_m^{c_i}}^{c_i}, \quad (10)$$

$$F_{1g_m^{c_i}}^{c_i} \cap F_{2g_m^{c_i}}^{c_i} \cap \dots \cap F_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \cap \dots \cap F_{n_g g_m^{c_i}}^{c_i} = \bigcap_{m=1}^{n_g} F_{mg_m^{c_i}}^{c_i} = \emptyset, \quad (11)$$

$$\forall F_{mg_m^{c_i}}^{c_i} (F_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \subseteq F^{c_i}), \quad \forall F_{pg_m^{c_i}}^{c_i} \forall F_{qg_m^{c_i}}^{c_i} (F_{pg_m^{c_i}}^{c_i} \neq F_{qg_m^{c_i}}^{c_i}). \quad (12)$$

Зазначимо синтаксис елементарного факту:

<факт> ::= < вислів > < вислів > < вислів >;  
 <вислів> ::= <лексема > | < вислів > <лексема>.

Визначимо формальну мову моделі подання елементарних фактів. Врахуємо, що формальна мова фактів відповідає конкретній предметній області, тобто належить деякому з класів фактів  $G^{c_i}$  в поточному контексті –

$$\forall F_k^{c_i}, k=1, n_f \left( \bigvee_{m=1}^{n_g} f_k^{c_i} \in F_m^{c_i} g_m^{c_i} \right). \quad (13)$$

Мова елементарних фактів для предметної області  $c_i \in C$  і деякого  $m$ -го класу  $g_m^{c_i}$  визначимо наступним чином [11, 12]

$$L(G)^{f_{c_i} g_m^{c_i}} = \langle \Sigma^f, N^f, P^f, S^f \rangle, \quad (14)$$

де  $G$  – формальна граматики на фактах;  $\Sigma^f$  – основний кінцевий термінальний алфавіт фактів;  $N^f$  – допоміжний кінцевий нетермінальний алфавіт;  $P^f$  – правила підстановки (продукції) формальної граматики на фактах:  $\exists a, \exists b, (a, b) \in P : a \rightarrow b$ ;  $S$  – стартовий нетермінальний символ граматики  $G$  на фактах;  $N^f \cap \Sigma^f = \emptyset$  і  $P \subset ((N^f \cup \Sigma^f)^+ \times (N^f \cup \Sigma^f)^*)$ .

Узагальнимо мову фактів на всі класи контекстів бази знань на фактах.

$$L(G)^f = \langle \Sigma^f, N^f, P^f, S^f \rangle, \quad (15)$$

де  $\Sigma^f = F = \{f_k \mid k=1, n_f\}$  – всі факти шару фактів БЗ;  
 $F = \{\{F_{1g_m^{c_0}}\}, \{F_{2g_m^{c_0}}\}, \dots, \{F_{mg_m^{c_0}}\}, \dots, \{F_{ng_m^{c_0}}\}\}$ ;  $N^f = \{\text{факт, клас\_фактів, шар\_фактів}\}$ ;  
 $S^f = \langle \text{шар\_фактів} \rangle$ .

Розробимо структурно-лінгвістичну модель онтології для шару БЗ елементів-тарних фактів –  $KB_F$ . Використовуємо узагальнену формулу [13 - 15]

$$O_{KB_F} = \langle X^f, R^f, F^f \rangle. \quad (16)$$

Тоді для фактів, що відносяться до безпідставного контексту, матимемо

$$X^f = F = \{f_k \mid k=1, n_f\} = \{\{s_{sk}, s_{rk}, s_{ak}\} \mid k=1, n_f\};$$

$$X^f = \{f_k \mid k=1, n_f\} = \{\{s_{sk}, s_{rk}, s_{ak}\} \mid k=1, n_f\}.$$

Так як для даного шару БЗ відносини між фактами відсутні (тобто - факти використовуються ізольовано один від одного), то  $R = \emptyset$ . Для визначення множини функцій інтерпретації  $F_f$  будемо припускати, що частина фактів може використовуватися для інтерпретації інших фактів поточного шару. В цьому випадку факти можна розділити на ситуаційні групи - класи - підмножина інтерпретованих фактів (з індексом 1) і підмножина фактів, що інтерпретує (з індексом 2), як наведено в виразі (17)

$$F = \{\{F_1\}, \{F_2\}\}, \quad (17)$$

де  $F_1 \cup F_2 = F$  – все множество фактов,  $F_1 \cap F_2 = \emptyset$ .

$$\text{Тоді } \exists (f_{1i} \in F_1), \exists (f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2k} \in F_2) (f_{1i}^{c_0} = f^f(f_{21}^{c_0}, f_{22}^{c_0}, \dots, f_{2k}^{c_0}), f^f \in F^f). \quad (18)$$

Функція інтерпретації матиме вигляд

$$f_j : Op(\{(f_{2j}, I_j)\}) \rightarrow (f_{1j}, I_j), \quad (19)$$

де  $Op$  – операція агрегації фактів, наприклад, - перерахування з упорядкуванням, вибір найбільш ймовірного, вибір найбільш значимого, вибір самого нового, логічне зв'язування, логічне слідування і т.ін.

На основі розроблених теоретико-множинних моделей отримана формальна модель уніфікованої онтології фактів типу «активний словник» з наступною узагальненою структурою

$$O_{KB_F} = \langle \bigcup_{j=1}^N [F_{1j} \cup F_{2j}], \emptyset, \{F^f\} \rangle. \quad (20)$$

Наведемо приклад практичного використання розроблених математичних моделей подання фактів і моделі професійної онтології шару фактів бази знань.

Факти відносяться до декларативних семантичних форм подання професійних знань, тому з їх допомогою описують структурні компоненти задачі. Розроблені математичні моделі інваріантні по відношенню до предметних напрямків. У якості прикладу професійної сфери виберемо опис електротехнічного обладнання. Введемо множини висловлювань, які умовно відносяться до одного контексту  $c^0$

$s_1^{c_0}$  = «лінія»;  $s_2^{c_0}$  = «належить до класу номінальних напруг»;  $s_3^{c_0}$  = «110 кВ»;  $s_4^{c_0}$  = «клас номінальної напруги»;  $s_5^{c_0}$  = «має величину»;  $s_6^{c_0}$  = «6 - 10 кВ»;  $s_7^{c_0}$  = «35 кВ»;  $s_8^{c_0}$  = «трансформатор»;  $s_9^{c_0}$  = «має кількість обмоток»;  $s_{10}^{c_0}$  = «2»;  $s_{11}^{c_0}$  = «обмотка трансформатора»;  $s_{12}^{c_0}$  = «має матеріал виготовлення»;  $s_{13}^{c_0}$  = «мідь»;  $s_{14}^{c_0}$  = «має тип охолодження»;  $s_{15}^{c_0}$  = «масло»;  $s_{16}^{c_0}$  = «повітря».

Введемо безлічі фактів із зазначенням індексу релевантності  $F^{c_0} = \{[F_1^{c_0}], [F_2^{c_0}]\}$ .

Побудуємо множину фактів  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_8\}$ , де  $f_1 = (s_1^{c_0}, s_2^{c_0}, s_3^{c_0}, 1)$ ;  $f_2 = (s_4^{c_0}, s_5^{c_0}, s_6^{c_0}, 1)$ ;  $f_3 = (s_4^{c_0}, s_5^{c_0}, s_6^{c_0}, 1)$ ;  $f_4 = (s_4^{c_0}, s_5^{c_0}, s_7^{c_0}, 1)$ ;  $f_5 = (s_8^{c_0}, s_9^{c_0}, s_{10}^{c_0}, 2)$ ;  $f_6 = (s_{11}^{c_0}, s_{12}^{c_0}, s_{13}^{c_0}, 2)$ ;  $f_7 = (s_{11}^{c_0}, s_{14}^{c_0}, s_{15}^{c_0}, 2)$ ;  $f_8 = (s_{11}^{c_0}, s_{14}^{c_0}, s_{16}^{c_0}, 2)$ . Тут  $F_1 = \{f_1, f_5\}$ ,  $F_2 = \{f_2, f_3, f_4, f_6, f_7, f_8\}$ .

Тоді можуть існувати такі функції інтерпретації

$$f_1^f : Op(\{(f_2^{c_0}, 1), (f_3^{c_0}, 1), (f_4^{c_0}, 1)\}) \rightarrow (f_1^{c_0}, 1);$$

$$f_2^f : Op(\{(f_6^{c_0}, 2), (f_7^{c_0}, 2), (f_8^{c_0}, 2)\}) \rightarrow (f_5^{c_0}, 2).$$

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Таким чином, теоретично обґрунтована і практично побудована структурно-лінгвістична модель уніфікованої професійної онтології елементарних фактів згідно з прийнятою концепцією. Застосований математичний апарат є інваріантні по відношенню до професійних галузях і дозволяє одноманітно будувати і керувати відомостями бази знань. У подальших дослідженнях планується об'єднання різних форм представлення знань і уніфікація механізмів їх обчислень.

#### Список літератури

1. Уэно Х., Исидзука М. Представление и использование знаний: Пер. с япон. / Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука – М.: Мир – 1989 – 220 с.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер – 2000 – 384 с.
3. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта: Пер. с франц. – М.: Мир – 1991 – 568 с.
4. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.– 1990 – 232 с.
5. Ракитина М.С., Грезина М.А., Колчина О.А. Интеграция методов системного анализа в исследовании и построении информационных систем поддержки принятия и обоснования решений // Известия ЮФУ. Технические науки – 2013 – № 6 (143) – С. 132 – 138
6. Бохуа Н.К., Геловани В.А., Ковригин О.В. Экспертные системы: опыт проектирования – М.: МНИИПУ – 1990 – 348 с.
7. Искусственный интеллект: Справочник в 3 кн. Кн. 2. Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова – М.: Радио и связь – 1990 – 304 с.
8. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение – СПб.: БХВ-Петербург – 2003 – 1104 с.
9. Берж К. Теория графов и ее применения: Пер. с фран. / Под ред. И.А. Вайнштейна — М.: Изд-во иностр. лит. – 1962 – 320 с.
10. Татт У. Теория графов: Пер. с англ. – М.: Мир – 1988 – 424 с.
11. Пентус А. Е., Пентус М. Р. Теория формальных языков: Учебное пособие – М.: Изд-во ЦПИ при механико-математическом ф-те МГУ – 2004 – 80 с.
12. Коротков М.А., Степанов Е.О. Основы формальных логических языков – СПб.: СПб ГИТМО (ТУ) – 2003 – 84 с.
13. Гаврилова Т.А. Формирование прикладных онтологий // Труды XX нац. конф. по ИИ – КИИ-2006 – М.: Физматлит – 2006 – Т.2 – 7 с.
14. Fernandez M. METHONTOLOGY: From Ontological Art Toward Ontological Engineering / M. Fernandez, A.

Рукопис подано до редакції 13.04.2018

УДК 624.195

Р.А. ТИМЧЕНКО, С.О. ПОПОВ, доктора техн. наук, профессора,  
Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. препод., С.О. МАЦЫШИН, ассистент  
Криворожский национальный университет

## ЗАЩИТНЫЙ ЭКРАН ИЗ ТРУБ ДЛЯ ТОННЕЛЕЙ В ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ

**Цель.** Разработка защитного экрана из труб с линейно-подвижным соединением для сложных инженерно-геологических условий. В комплексе городских подземных сооружений особое место занимают тоннельные системы, к которым относятся транспортные тоннели, пешеходные тоннели, подземные многоярусные автостоянки и гаражи, коллекторные тоннели и др. Особой сложностью отличается строительство подземных тоннельных систем, расположенных в сложных инженерно-геологических и горно-геологических условиях, на подрабатываемых территориях. Основными требованиями при строительстве подобных сооружений являются исключение просадки, деформации поверхности и минимальное влияние строительного процесса на повседневную работу городской инфраструктуры.

**Методы исследования.** Для реализации поставленной цели использованы такие общенаучные методы, как: сравнение, анализ, наблюдение.

**Научная новизна.** Определена методика расчета и конструктивные особенности защитного экрана из труб, назначение которого состоит в предупреждении и минимизации деформаций и просадок поверхности, расположенной над сводом тоннеля в период его проходки и крепления.

**Практическая значимость.** Использование защитного экрана из труб при строительстве тоннелей позволит решить ряд проблем – разгрузить транспортные магистрали и узлы их пересечения, ускорить движение всех видов транспорта и пешеходов, а также снизить загазованность городской атмосферы.

**Результаты.** Приведена область применения тоннелей, примеры их проектирования, технология и организация строительства различными способами в инженерно-геологических и транспортных условиях в различные годы. Рассмотрены разновидности тоннелей, а также факторы, осложняющие, с геомеханической точки зрения, строительство подземных сооружений на подрабатываемых территориях и в сложных инженерно-геологических условиях Кривого Рога. Защитный экран из труб при строительстве подземных сооружений не требует больших экономических затрат и остановки движения транспорта при строительстве подземных транспортных сооружений (автодорожных тоннелей, пешеходных переходов), позволяет разгрузить дорожное движение уличной сети и обезопасить пешеходов. Поэтому при строительстве тоннелей на застроенных городских территориях, а также при пересечении железнодорожных и автодорожных магистралей применяют защитные экраны, устраиваемые по технологии опережающей крепи.

**Ключевые слова:** тоннель, защитный экран из труб, подземные сооружения, строительство.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-141-147

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Проблемы развития крупных городов решаются в настоящее время с использованием третьего измерения, глубины грунтового массива. Подземная инфраструктура играет значительную роль в жизни современных городов. В комплексе городских подземных сооружений особое место занимают тоннельные системы, к которым относятся транспортные тоннели, пешеходные тоннели, подземные многоярусные автостоянки и гаражи, коллекторные тоннели и др. Особой сложностью отличается строительство подземных тоннельных систем, расположенных в сложных инженерно-геологических и горно-геологических условиях, на подрабатываемых территориях [1, 2].

Основными требованиями при строительстве подобных сооружений являются исключение просадки, деформации поверхности и минимальное влияние строительного процесса на повседневную работу городской инфраструктуры [3].

Выполненные ранее работы [4, 5] по разработке конструкций поперечного тоннеля имеют дальнейшее развитие в создании защитного экрана из труб на неравномерно-деформируемых основаниях.

**Анализ исследований и публикаций.** Тоннели начали строить в глубокой древности, пре-