УДК 504.064.36

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2021.46.74-80>

О. Міхно, канд. техн. наук, доц.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна
almikhno@ukr.net
ORCID ID 0000-0003-4994-2405,
І. Патракеєв, канд. техн. наук, доц.
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна
ipatr@ukr.net
ORCID ID 0000-0002-0448-8790,
Н. Левінська, доц.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна
levinskova@ukr.net
ORCID ID 0000-0002-2532-2925

АНАЛІЗ ТАКТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУЧАСНОГО ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

Розглянуто геоінформаційний моніторинг міського середовища як необхідну складову сучасного воєнно-географічного опису театру військових дій. Прийнято, що властивість поліморфізму сучасного геоінформаційного моніторингу можна вважати тактичною, оскільки вона дозволяє суттєво розширити діапазон дешифрувальних ознак території, що підлягає вивченню. Розкрито сутність властивості поліморфізму геоінформаційного моніторингу, а саме: один і той самий об'єкт моніторингу або одне і те саме явище чи процес можуть бути подані за допомогою різних моделей. Така властивість геоінформаційного моніторингу дозволяє зберегти цілісність подання об'єктів моніторингу за рахунок інваріантності опису об'єктів і звести дослідження завдань одного типу моніторингу до завдань іншого. Узгодженість різних моделей об'єктів моніторингу здійснюється за умови їхньої належності до заданої категорії моделей. Використано метод категорно-функторного аналізу конструктивного підходу до інтеграції різних видів моделей об'єктів моніторингу в системі геоінформаційного моніторингу. Проведено за допомогою математичного апарату теорії категорій формалізацію структур складних систем у вигляді множин морфізмів та об'єктів категорії структурованих множин, що дозволяє зберегти цілісність подання об'єкта моніторингу, а узгодженість його різних моделей здійснити на основі аналізу належності до заданої категорії моделей. Наведено математичний апарат реалізації цього методу, що становить теоретичні основи властивості поліморфізму геоінформаційного моніторингу. Властивість поліморфізму дозволяє підвищити ефективність процесів спостереження, оцінювання, контролю та управління міським середовищем на основі різноманітного полімодельного комплексу, який формує інформаційний простір об'єкта моніторингу. Розглянуто конкретні моделі практичної реалізації властивості поліморфізму геоінформаційного моніторингу на прикладі аномальних зон щільності розташування автотранспортних засобів і теплового поля поверхні міста.

Ключові слова: геоінформаційний моніторинг, поліморфізм, міське середовище, категорно-функторний аналіз, просторове моделювання.

Постановка проблеми. Геоінформатика дає новий поштовх до розвитку теорії моніторингу. Такий розвиток полягає в тому, що геоінформатика заснована на застосуванні інтегрованих інформаційних систем обробки даних. Необхідність принципово нового підходу до процесу геоінформаційного моніторингу, розвитку і поглиблення методологічних основ геоінформаційного моніторингу як узагальненого моніторингу процесів і явищ на земній поверхні диктується потребами інтеграції сучасних технологій спостереження, розширення спектра розв'язуваних завдань, забезпечення інтероперабельності моніторингу, забезпечення міждисциплінарного перенесення знань, що є властивістю сучасних методів пізнання. Розглянуто підхід до інтеграції різних видів моделей об'єкта геоінформаційного моніторингу на основі застосування методів категорно-функторного аналізу. Цей підхід дозволяє зберегти цілісність подання об'єкта моніторингу за рахунок інваріантності полімодельного способу його опису і звести завдання дослідження одного виду моделей до завдань дослідження іншого виду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз чисельних досліджень, присвячених геоінформаційному моніторингу (ГМ) як складній системі, показує, що його доцільно використовувати для: моніторингу систем, факторного моніторингу і моніторингу разових ситуацій [1], а також моніторингу процесів і явищ [2]. Кожен вид моніторингу вимагає побудови відповідних моделей, які визначають динаміку зміни стану об'єкта спостереження, оцінювання його стану та прогнозування стану. Питанням поліморфного моделювання складних об'єктів будь-якої природи (природних, штучних, реально існуючих і віртуальних тощо), яке дозволяє взаємно компенсувати існуючі недоліки моделей і водночас посилити позитивні якості інших моделей, присвячені роботи [3, 4]. Ідейний

аспект поліморфізму заклав ще визначний фізик Н. Бор при формулюванні принципу *додатковості* [5, 6], згідно з яким для повного опису квантово-механічних явищ необхідно застосовувати взаємовиключні ("додаткові") набори моделей, сукупність яких дає вичерпну інформацію про досліджувані процеси та явища [5, 7, 8].

Мета статті. Присвячено аналізу властивості поліморфізму геоінформаційного моніторингу. Поліморфізм дозволяє підвищити ефективність процесу моніторингу та оцінювання складних систем на основі багатомодельного комплексу різних моделей.

Викладення основного матеріалу дослідження. Геоінформаційний моніторинг (ГМ) має важливу властивість *поліморфізму*: коли один і той самий об'єкт моніторингу (ОМ), або одне і те саме явище, процес можуть бути подані різними моделями. Термін *поліморфізм* (з грец. *багатоформність*) має декілька значень. Поліморфізм в інформатиці – це здатність однаковим чином обробляти дані різних типів. Така властивість ГМ дозволяє зберегти цілісність подання ОМ за рахунок інваріантності опису об'єкта та звести дослідження завдань одного виду моніторингу до завдань іншого. Узгодженість різних моделей ОМ здійснюється за умови належності до заданої категорії моделей. Конструктивним підходом до інтеграції різних видів моделей ОМ у системі ГМ є використання методів категорно-функторного аналізу.

Математичний апарат теорії категорій дозволяє провести формалізацію структур складних систем у вигляді множин морфізмів та об'єктів категорії структурованих множин. Особливості теорії категорій дозволяють стверджувати, що вона може забезпечити адекватний базис щодо розвитку основ теорії системи ГМ взагалі. *Категорія* – це математична структура, окремим випадком якої є частково впорядковані множини. У багатьох випадках

категорію зручно подавати як "узагальнену частково впорядковану множину".

Категорією K у теорії категорій визначається клас об'єктів ObK , елементи якого називаються *об'єктами* категорії K , і класу $MorK$, елементи якого називаються *морфізмами* категорії K . Категорію K задано за таких умов:

- задано клас об'єктів $A, B, C, \dots$, кожен з яких є множиною;
- для кожної пари об'єктів A, B категорії K задана множина морфізмів $Mor(A, B)$ об'єкта A в об'єкт B ;
- для кожної трійки об'єктів A, B, C категорії K визначено *закон композиції* (відображення):

$$Mor(A, B) \times Mor(B, C) \rightarrow Mor(A, C).$$

Композиція морфізмів $f \in Mor(A, B)$ та $g \in Mor(B, C)$ визначається як $f \circ g$ і має такі властивості:

- $f \circ (g \circ h) = (f \circ g) \circ h$ для будь-яких $f \in Mor(A, B)$, $g \in Mor(B, C)$, $h \in Mor(A, C)$ (виконується закон асоціативності, рис. 1, а);
- для кожного об'єкта категорії K ($A = ObK$) існує такий елемент $1_A \in Mor(A, A)$, що

$$1_A \circ f = f, \quad g \circ 1_A = g;$$

- для будь-яких $f \in Mor(A, B)$, $g \in Mor(B, C)$ (кожному об'єкту категорії K зіставляється тотожне відношення, рис. 1, б).

Рис. 1. Приклади асоціативної (а) і комутативної (б) діаграм морфізмів

Як об'єкт категорії K визначимо множину різномірних моделей $K = \{K^i\} \equiv ObK$, де, $i = \overline{1, n}$, n – кількість видів різномірних обчислювальних моделей [9]. Наприклад, за ознакою подання можна навести обчислювальні моделі: *лінійного чи нелінійного програмування, мережеві, динамічні, гібридні, агрегатні, мережі Петрі, клітинні автомати, нейронні мережі, логіко-вірогідні, логіко-лінгвістичні, логіко-алгебраїчні* [4, 10] та інші, які використовуються при проведенні різних видів моніторингу об'єктів, процесів та явищ навколишнього середовища.

Між кожною парою об'єктів $Ob(K^i)$ та $Ob(K^j)$ визначено множину морфізмів

$$\Delta = Mor(K^i, K^j), \quad \delta_K \in \Delta;$$

для будь-якої трійки об'єктів $Ob(K^i)$, $Ob(K^j)$ та $Ob(K^l)$ визначено композицію морфізмів

$$\delta \in Mor(K^i, K^j) \circ \varphi \in Mor(K^j, K^l) = \varphi \circ \delta \in Mor(K^i, K^l).$$

Для кожного з об'єктів $Ob(K^i)$ визначено одиничний морфізм

$$1_{K^i} \in Mor(K^i, K^i).$$

На рис. 2 показано приклад заданої категорії K різномірних моделей об'єкта моніторингу у вигляді комутативної діаграми.

Рис. 2. Графічна інтерпретація категорії K моделей об'єкта моніторингу у вигляді комутативної діаграми

Застосувавши завдання таксономії до категорії K , можна сформувати Cat – категорію малих категорій (КМК) на основі простору ознак [11]:

$$P^n = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}.$$

Об'єктами Cat є категорії класів різномірних моделей $\mathcal{M}_{KL}^v$, $v = \overline{1, m}$, де m – кількість сформованих на основі простору ознак P^n класів різномірних моделей.

Прикладом класів різномірних моделей можуть бути: *клас моделей відношень, клас моделей процесів, клас*

моделей об'єктів, клас семантичних моделей, клас моделей даних, клас статичних моделей, клас динамічних моделей тощо. Обчислювальні моделі, які належать до категорії окремого класу різномірних моделей

$K^i, K^j \in Ob\mathcal{M}_{\text{КЛ}}$, ізоморфні (подібні) у заданому просторі ознак. На рис. 3 наведено структуру, сформовану на основі простору ознак КМК Cat у вигляді діаграми.

Рис. 3. Структура сформованої на основі простору ознак категорії малих категорій Cat у вигляді діаграми

Класи різномірних моделей у просторі ознак P^n гомоморфні (можливість подавати одну модель іншою моделлю) і формують об'єкти КМК $\{\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v\} \equiv ObCat$, $v = \overline{1, m}$, де $m = card(\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v)$. Властивість поліморфності ГМ (ГМ_{ПЛМ}) визначається як сукупність різних категорій $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v$, які можуть застосовуватись для модельного подання об'єктів моніторингу:

$$ГМ_{\text{ПЛМ}} = \bigcup_v^m \mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v$$

Встановлення зв'язку між різними категоріями здійснюється за допомогою функторів. Введення функторів як системи відносин між різними категоріями (класами моделей геоінформаційного моніторингу) гарантує несуперечність категорій (моделей) та узгодженість результатів моніторингу, отриманих на їхній основі. Таким чином, функтори дозволяють зіставляти моделі з різних класів категорій та встановлювати між ними взаємозв'язки для досягнення наступних цілей [4]:

- виявлення властивостей різних класів моделей за допомогою функторних перетворень;
- приведення моделей дослідження об'єктів ГМ одного класу до моделей іншого класу;
- проведення спільного вивчення результатів дослідження об'єктів ГМ різними категоріями класів моделей та формування їх нових категорій.

Між об'єктами $ObCat$ існують правильні відображення однієї категорії до іншої (функтори) [12]. Розглянемо дві категорії класів моделей $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v$ та $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^u$. Кожній моделі M^i з категорії класу моделей $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v$ поставлено у відповідність модель $F(K^i)$ із категорії класу моделей

$\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^u$, а кожному морфізму $\varphi \in Mor(K^i, K^l)$ поставлено у відповідність морфізм $F(\varphi) \in Mor(F(K^i), F(K^l))$ за умови виконання рівнянь:

$$F(1_{K^i}) = 1_{F(K^i)}; \quad F(f \circ g) = F(g) \circ F(f),$$

тоді згідно з визначеннями роботи можна сказати, що задано *коваріантний функтор* із категорії класів моделей $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v$ до категорії класів $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^u$ у вигляді системи

$$\begin{cases} F: Ob(\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v) \rightarrow Ob(\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^u) \\ F: Mor(\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v) \rightarrow Mor(\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^u) \end{cases}$$

Поняття контрваріантного функтора можна отримати за умови зміни рівняння

$$F(f \circ g) = F(g) \circ F(f) \text{ на } F(f \circ g) = F(f) \circ F(g).$$

Формування правил відображення моделей об'єкта ГМ одного класу в моделі іншого класу вимагає побудови коваріантного або контрваріантного функтора $F(K^i, K^j)$. Вид функтора залежить від відношень між різними видами моделей (K^i, K^j) . При проведенні багатомодельних досліджень об'єкта ГМ використовується операція природного перетворення функторів.

На рис. 4 функтор F зіставляє обчислювальним моделям K^i, K^j та морфізму f категорії $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v$ моделі та морфізму категорії $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{v+1}$: образи $F(K^i)$, $F(K^j)$ і морфізм $F(f)$. Аналогічно, функтор G зіставляє моделям K^i, K^j і морфізму f категорії $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^v$ інші моделі та морфізм категорії $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^u$: образи $G(K^i)$, $G(K^j)$, морфізм $G(f)$. Також як моделі $F(K^i)$, $F(K^j)$ зв'язуються безпосередньо за допомогою морфізму $F(f)$, моделі $G(K^i)$ та $G(K^j)$ зв'язуються за допомогою морфізму $G(f)$. У свою чергу, образи $F(M^i)$ та $G(K^{i+1})$, $G(K^j)$ та $G(K^i)$ зв'язуються за допомогою морфізмів h та h' за умови виконання комутативності діаграми складеної з відображень h , h' , $F(f)$, $G(f)$, тобто при виконанні рівності

$$h' \circ F(f) = G(f) \circ h.$$

Рис. 4. Приклад операції природного перетворення коваріантних функторів F і G

Проілюструємо можливості категорно-функторного підходу на спрощеному прикладі поліморфного опису завдання моніторингу стану міського середовища. Традиційно вирішення завдання ґрунтується на формуванні і побудові інформаційно-аналітичних моделей оцінювання стану компонентів міського середовища і джерел впливу та подальшому просторовому моделюванні, наприклад, впливу антропогенних факторів на зміну екологічних умов на урбанізованій території. При полімодельному описі завдань моніторингу стану міського середовища функтор забезпечує перехід із категорії $(\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu})$, яка задає інформаційно-аналітичні (статичні) моделі, у кате-

горію імітаційних (динамічних) моделей $(\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu+1})$, які моделюють динаміку екологічних змін на урбанізованій території. Таким чином, сконструйований коваріантний функтор $F: \mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu} \rightarrow \mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu+1}$ встановлює відповідність як між вершинами графа $x_i \in \text{Ob} \mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu}$ та імітаційними моделями $z_i \in \text{Ob} \mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu+1}$, так і між ребрами $\langle x_i, x_{i+1} \rangle \in \text{Mor} \mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu}(X_i, X_{i+1})$ та відображеннями імітаційних моделей $\Omega_{i,i+1} \in \text{Mor} \mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu+1}(F(\langle x_i, x_{i+1} \rangle))$.

На рис. 5 наведено графічну ілюстрацію функторного відображення малої категорії $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu}$ інформаційно-аналітичних моделей до малої категорії $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu+1}$ імітаційних моделей.

Рис. 5. Графічна ілюстрація функторного відображення малої категорії $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu}$ інформаційно-аналітичних моделей до малої категорії $\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu+1}$ імітаційних моделей

Процедура формування функтора $\exists F: (\mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu}) \rightarrow \mathcal{M}_{\text{КЛ}}^{\nu}$ дозволяє будувати й обробляти гіпотези щодо знань однієї категорії класу моделей, застосовуючи їх до знань іншої категорії класу моделей, що значно розширює практичні можливості отримання знань про об'єкт ГМ.

Таким чином, властивість *поліморфізму* характеризує ГМ як багатомодельний комплекс різноманітних моделей, що дозволяє застосувати відповідну стратегію опе-

рування моделями [13]: якщо модель є об'єктом дедуктивного виведення, то вона забезпечує формування більш детального результату; якщо модель є об'єктом індуктивного виведення, то вона забезпечує формування більш агрегованого результату. Приклад узгодженості різноманітних моделей об'єкта ГМ проілюстровано на рис. 6. Розглянемо практичну реалізацію властивості поліморфізму геоінформаційного моніторингу на деяких конкретних прикладах.

Рис. 6. Приклад узгодженості різних моделей об'єкта геоінформаційного моніторингу

Геоінформаційний моніторинг та оцінка щільності автотранспортних засобів міського середовища на основі аерокосмічного моніторингу території. Традиційні методи моделювання транспортних потоків спираються на локальні точкові обстеження в окремих розподілених місцях вулично-дорожньої мережі (ВДМ). Практичний досвід показує, що застосування ГМ, заснованого, наприклад, на аерознімках, свідчить про його високу ефек-

тивність. Для м. Харкова з метою отримання вихідної інформації використаний ортофотоплан за матеріалами аерофотозйомки, що дозволило згенерувати векторний лінійний шар автотранспорту всього міста в програмному середовищі ArcGIS (рис. 7, а) [14]. Grid-модель дозволила виділити в м. Харкові основні аналітичні щільності розташування транспортних засобів (рис. 7, б) і провести аналіз та класифікацію ВДМ за обсягом потоку транспортних засобів (рис. 8).

а)

б)

Рис. 7. Векторна модель розподілу автотранспортних засобів (а), grid-модель щільності автотранспортних засобів (б)

Рис. 8. Растрова модель аномальних зон щільності автотранспортних засобів (а), класифікація ВДМ за обсягом потоку транспортних засобів (авт./100 м) (б)

Геоінформаційний моніторинг формування та розвитку "теплого острова" міст України на основі даних дистанційного зондування Землі [15, 16]. Для урбанізованих територій характерне формування так званих "островів тепла", пов'язаних з перепадом при-

поверхневих температур між центром міста та його периферією. Опрацювання та аналіз космічних даних дозволяє отримати растрові моделі з подальшою побудовою картографічних моделей теплового поля поверхні території міста, яка виявляється проблемною з екологічної точки зору (рис. 9).

Рис. 9. Приклад картографічної моделі теплового поля поверхні в південній частині м. Києва (Landsat 5 TM від 29.05.2011) (а); растрова модель теплового поля підстильної поверхні в південній частині м. Києва (праворуч – теплове поле, яке показано за допомогою градієнта "від чорного до жовтого") (б)

Висновки. Як показано, геоінформаційний моніторинг має багато аспектів використання та дозволяє вирішувати широке коло окремих прикладних завдань. Як метод пізнання він дозволяє проводити комплексні дослідження на основі застосування багатомодельного комплексу різномірних моделей, який, у свою чергу, дозволяє здійснювати міждисциплінарне перенесення знань. Властивість *поліморфізму* геоінформаційного моніторингу дозволяє будувати та обробляти гіпотези щодо знань однієї категорії моделей об'єкта моніторингу, застосовуючи їх до знань іншої категорії моделей, що значно розширює практичні можливості в здобуванні знань про стан міського середовища як специфічної просторово розподіленої системи.

Список використаної літератури

1. Бондур В.Г., Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Проблемы мониторинга и предсказания природных катастроф // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2004. №9. С. 2–15.
2. Цветков В.Я., Павлов А.И., Потапов А.С. Геоинформационный мониторинг деформаций. М.: МИИГАиК "Госинформобсерватория", 2006. 88 с.
3. Аврамчук Е.Ф., А.А. Вавилов, С.В. Емельянов и др. Технология системного моделирования; под общ. ред. С.В. Емельянова. М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1988. 520 с.
4. Охитилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
5. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. М.: Высшая шк., 1989. 367 с.
6. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. М.: Синтез, 2000. 528 с.
7. Ростовцев Ю.Г. Основы построения автоматизированных систем сбора и обработки информации. СПб.: ВИКИ, 1992. 717 с.
8. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982. 152 с.

9. Розенберг И.Н. Геоинформационная модель // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований, 2016. № 5. Ч. 4. С. 675-676.
10. Волкова В.Н. и др. Моделирование систем : учеб. пособ ; под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. СПб. : изд-во Политехн. ун-та, 2012. 440 с.
11. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. М. : ИМ СО РАН, 1999. 270 с.
12. Малейн С. Категории для работающего математика ; пер. с англ. / под ред. В.А. Артамонова. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. 352 с.
13. Батищев В.И., Губанов Н.Г. Методология оперативной реструктуризации информационных систем анализа состояния сложных технических объектов : тр. X Межд. конф. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Самара: СНЦ РАН, 2008. С. 176–180.
14. Шипулин В.Д., Серединин Е.С., Патракеев И.М. Анализ распределения транспортных средств в Харькове // ArcReview: современные геоинформационные технологии, 2007. № 2(41). С. 9-10.
15. Patrakeyev I., Ziborov V. & Lazorenko-Hevel N. Determination of Anthropogenic Changes in Urbanized Territories by Facilities of GIS // GeoScience Engineering, 2017. 63(1), P. 8–14. Retrieved from <http://gse.vsb.cz/ojs/index.php/GSE/article/view/140>.
16. Крылова В.Б. Мониторинг формирования и развития "теплового острова" города Киева // Укр. журн. дистанційного зондування Землі, 2014. № 2. С. 35–37.

References

1. Bondur, V.G., Kondratyev, K.Ya., Krapivin, V.F. & Savinykh, V.P. (2004) Problems of Monitoring and Prediction of Natural Disasters. *Problems of the Environment and Natural Resources*, 9, 2-15.
2. Tsvetkov V.Ya., Pavlov A.I. & Potapov A.S. (2006) Geomonitoring of Deformations. *Moscow: MSUGK, "Gosinformobr"*, 88 p.
3. Avramchuk, E.F., Vavilov, A.A., Emelyanov, S.V. et al. (1988) Technology of System Modeling. *Moscow: Mechanical engineering; Berlin: Technique*, 520 p.

4. Okhtilev, M.Yu., Sokolov, B.V. & Yusupov, R.M. (2006) Intelligent Technologies for Monitoring and Controlling the Structural Dynamics of Complex Technical Objects. *Moscow: Science*, 410 p.
5. Peregudov, F.I. & Tarasenko, F.P. (1989) Introduction to System Analysis. *Moscow: Higher school*, 367 p.
6. Prangishvili, I.V. (2000) System Approach and System-wide Patterns. *Moscow: Sinteg*, 528 p.
7. Rostovtsev, Yu.G. (1992) Fundamentals of Building of Automated Systems for Information Collecting and Processing. *St. Petersburg: VIKI*, 717 p.
8. Schreider, Yu.A. & Balls, A.A. (1982) Systems and Models. *Moscow: Radio and Communication*, 152 p.
9. Rosenberg, I.N. (2016) Geoinformational Model. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 5(4). 675–676.
10. Volkova, V.N. et al. (2012) System Modeling: Textbook manual. *St. Petersburg: Publishing house of Polytechnic University*, 440 p.
11. Zagoruiko, N.G. (1999) Applied Methods of Data and Knowledge Analysis. *Moscow: IM SB RAS*, 270 p.
12. Malein, S. (2004) Categories for Working Mathematician. *Moscow: FIZMATLIT*, 352 p.
13. Batishchev V.I. & Gubanov N.G. (2008) Methodology of Operational Restructuring of Information Systems for Analyzing the Condition of Complex Technical Objects. *Problems of Control and Modeling in Complex Systems: Proceedings of the X Int. conf. Samara: SSC RAS*, 176-180.
14. Shipulin, V.D., Seredinin, E.S. & Patrakeev I.M. (2007) Analysis of Distribution of Vehicles in Kharkov. *ArcReview: Modern Geoinformational Technologies*, 2(41), 9-10.
15. Patrakeyev, I. Ziborov V. & Lazorenko-Hevel N. (2017) Determination of Anthropogenic Changes in Urbanized Territories by Facilities of GIS. *GeoScience Engineering*, 63(1), 8-14. Retrieved from <http://gse.vsb.cz/ojs/index.php/GSE/article/view/140>
16. Krylova V.B. (2014) Monitoring of Formation and Development of "Heat Island" of Kiev City. *Ukrainian Journal of Earth Remote Sensing*, 2, 35-37.

Надійшла до редколегії 14.04.21

O. Mikhno, PhD in Technical Sci., Ass. Prof.
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
almikhno@ukr.net
ORCID ID 0000-0003-4994-2405,
I. Patrakeyev, PhD in Technical Sci., Ass. Prof.
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ipatr@ukr.net
ORCID ID 0000-0002-0448-8790,
N. Levinskova, Ass. Prof.
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
levinskova@ukr.net
ORCID ID 0000-0002-2532-2925

ANALYSIS OF TACTICAL PROPERTIES OF MODERN GEOINFORMATIONAL MONITORING

Geoinformational monitoring of urban environment is a necessary component of modern military-geographical description of military operation theater. The polymorphism property of modern geoinformational monitoring can be attributed to tactical properties, since it significantly expands range of decryption features of territory to be studied. The essence of polymorphism property of geoinformational monitoring is as follows: the same object of monitoring or the same phenomenon or process can be represented by different models. This property of geoinformational monitoring allows to preserve the integrity of representation of monitoring objects due to the invariance of description of objects and to bring the study of tasks of one type of monitoring to tasks of another type. Consistency of disparate models of monitoring objects is carried out provided that they belong to a given category of models. A constructive approach to the integration of different types of models of monitoring objects in the system of geoinformational monitoring is using methods of categorical-functional analysis. The mathematical apparatus of category theory allows the formalization of structures of complex systems in the form of sets of morphisms and objects of category of structured sets. This allows us to preserve integrity of representation of monitored object, and the consistency of its disparate models based on the analysis of their belonging to a given category of models. The paper presents the mathematical apparatus of implementation of this method, which is the theoretical basis of properties of polymorphism of geoinformational monitoring. The property of polymorphism allows us to increase the efficiency of processes of observation, evaluation, control and management of urban environment on basis of a heterogeneous polymodel complex, which forms information space of object of monitoring. Specific models of practical implementation of the polymorphism properties of geoinformational monitoring on the example of anomalous zones of density of vehicles and thermal field of the city surface are considered.

Keywords: geoinformational monitoring, polymorphism, urban environment, categorical-functor analysis, spatial modeling.