

МАТЕМАТИЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ НАДЗЕМНИХ ДІЛЯНОК МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Розглянуто побудовану на модульному принципі систему автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів. Наведено структуру та UML-діаграму класів системи, описано функції її елементів та основні обчислювальні модулі. Особливу увагу приділено формуванню бази розрахункових моделей надземних ділянок магістральних трубопроводів, а також розробленню математичного і програмного забезпечення системи автоматизованого проектування. Розглянуто напружено-деформований стан прямолінійної надземної ділянки трубопроводу з урахуванням перепаду температури і податливості прилеглих підземних ділянок.

Ключові слова: система автоматизованого проектування, магістральні трубопроводи, надземні ділянки, математичне і програмне забезпечення.

Вступ. Україна володіє однією з найбільших у світі газотранспортних систем (ГТС). Усвідомлюючи важливість забезпечення Європейського континенту енергоносіями, наша держава приділяє значну увагу підтримці газотранспортної системи на високому технічному рівні. В умовах інтенсивного розвитку ринків газу винятково актуальною є проблема забезпечення надійності та ефективності роботи газотранспортної системи, значна частина якої перебуває в експлуатації понад 40-50 років. Підтримка об'єктів ГТС у належному функціональному стані передбачає періодичну діагностику та оцінку технічного стану елементів трубопроводів, виявлення дефектів та пошкоджень, проведення ремонту і модернізації ділянок трубопроводів.

З урахуванням зростаючих потреб щодо постачання енергетичних і сировинних ресурсів, ГТС, зокрема її лінійна частина, постійно розвивається. Основні вимоги щодо проектування нових і модернізації існуючих магістральних газопроводів регламентовано будівельними нормами і правилами СНиП 2.05.06-85 "Магістральні трубопроводи" [11]. Згаданий нормативний документ передбачає проведення проектних розрахунків надземних ділянок трубопроводів не тільки на міцність, а й на стійкість і коливання з урахуванням статичних і динамічних навантажень, температурних і сейсмічних впливів. Деякі види розрахунків нормативними документами не деталізуються, у зв'язку з чим їх методи невпинно вдосконалюються, про що свідчить, зокрема, запроваджений в Україні в останні роки ДСТУ – НБ В.2.3-21:2008 "Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами" [4]. Варто зазначити, що теоретичну базу для проведення статичних і динамічних розрахунків трубопроводів значною мірою опрацьовано [1-15]. Однак деякі питання, особливо ті, що стосуються дослідження роботи магістральних трубопроводів з урахуванням старіння та наявності дефектів матеріалу, дії рухомих, вібраційних, сейсмічних і локальних навантажень, потребують подальшого розвитку й уточнення.

Метою створення системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістральних трубопроводів є підвищення ефективності проектних розрахунків магістральних трубопроводів на міцність, стійкість і коливання з урахуванням статичних і динамічних навантажень, а також температурних та сейсміч-

них впливів. Опрацьоване математичне та програмне забезпечення та одержані результати розрахунків можуть бути використані в інженерній практиці під час проектування нових і модернізації існуючих магістральних трубопроводів.

2. Структура САПР надземних ділянок магістральних трубопроводів. Рішення задач САПР таких складних об'єктів як надземні ділянки магістральних трубопроводів неможливо організувати в рамках одного програмного модуля. Саме тому в основі створення САПР закладено модульний принцип, що передбачає розбиття системи на окремі програмні модулі в початковій стадії проектування та об'єднання незалежно розроблених програмних модулів на кінцевій стадії. Система має блочну структуру та складається з підсистем, кожна з яких виконує поставлені завдання. Підсистеми містять компоненти, необхідні для їх функціонування.

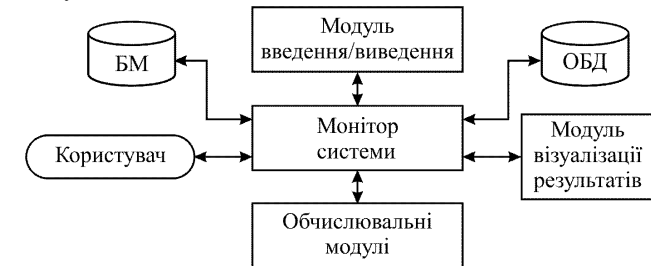


Рис. 1. Структура системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістрального трубопроводу

Блок, який називається центральним монітором системи, здійснює загальне управління всіма підсистемами та забезпечує злагодженість їх роботи. Він запускає в роботу ту чи іншу підсистему, забезпечує надходження до неї потрібних для оброблення даних, приймає результати і передає їх для виводу користувачу або на подальшу обробку іншим підсистемам. Оперативна база даних (ОБД) виконує функцію зберігання результатів розрахунків однієї підсистеми для використання іншою.

Сервісні модулі системи включають:

- модуль, що призначений для управління введенням вхідної інформації і виведенням результатів математичного моделювання і симулювання;
- модуль візуалізації результатів, який реалізує виведення графіків і діаграм;
- обчислювальні модулі, які дають змогу виконувати аналіз динамічних процесів у системі;
- база розрахункових моделей (БРМ), в якій зберігаються моделі систем для проведення розрахунків.

База розрахункових моделей надземних ділянок магістральних трубопроводів містить:

- прямолінійні однопрогонові ділянки;
- плоскі криволінійні однопрогонові ділянки сталої або змінної кривизни;
- плоскі системи послідовно з'єднаних прямолінійних та криволінійних ділянок трубопроводу;
- просторові криволінійні однопрогонові ділянки сталої або змінної кривизни;
- просторові системи послідовно з'єднаних прямолінійних та криволінійних ділянок трубопроводу;

- прямолінійні багатопрогонові ділянки;
- плоскі криволінійні багатопрогонові ділянки сталої або змінної кривизни;
- плоскі багатопрогонові системи послідовно з'єднаних прямолінійних та криволінійних ділянок трубопроводу;
- просторові криволінійні багатопрогонові ділянки сталої або змінної кривизни;
- просторові багатопрогонові системи послідовно з'єднаних прямолінійних та криволінійних ділянок трубопроводу.

Математичне та програмне забезпечення системи. По всій довжині однопрогової ділянки, а також в межах кожного з прогонів багатопроговості ділянки враховується можливість взаємодії трубопроводу з пружною основою. Передбачається застосування моделі пружної основи типу Вінклера, а також моделі основи з двома коефіцієнтами постелі, що дає змогу врахувати неоднорідність основи та її жорсткість на зсув.

Для опису статичного деформування, а також вільних і вимушених коливань трубопроводу застосовують технічну теорію згину або неklasичну теорію балок С. Тимошенка. Враховуються різноманітні умови закріплення кінців трубопроводів: вільний кінець, пружне закріплення, абсолютно жорстке закріплення. У всіх розрахункових моделях трубопроводів передбачена можливість урахування дії таких навантажень:

- статична зосереджена сила заданого напрямку;
- статична пара сил, з заданим напрямом вектора моменту;
- статичне рівномірне розподілене навантаження заданого напрямку;
- статичне нерівномірне розподілене навантаження заданого напрямку;
- динамічна зосереджена сила заданого напрямку, що змінюється в часі за гармонічним законом;
- динамічна пара сил, вектор моменту якої має заданий напрям, а абсолютне значення змінюється в часі за гармонічним законом;
- динамічне рівномірне розподілене навантаження заданого напрямку, що змінюється в часі за гармонічним законом;
- динамічне нерівномірне розподілене навантаження заданого напрямку, що змінюється в часі за гармонічним законом;
- динамічне навантаження твердим тілом, що рухається уздовж осі трубопроводу зі сталою або змінною у часі швидкістю.

Математичне і програмне забезпечення системи автоматизованого проектування містить такі обчислювальні модулі:

- модуль статичного розрахунку напружено-деформованого стану трубопроводів (Class StaticAnalysis);
- модуль модального аналізу трубопроводів (Class ModalAnalysis);
- модуль розрахунку гармонічних вимушених коливань трубопроводів (Class HarmonicForcedOsc);
- модуль розрахунку нестационарних коливань трубопроводів (Class NonStationaryOsc);
- модуль розрахунку кінематично збуджених коливань трубопроводів (Class KinematicOsc);
- модуль аналізу стійкості трубопроводів (Class StabilityAnalysis);
- модуль розрахунку коливань трубопроводів, що перебувають під дією рухомих навантажень (Class MovingLoadOsc).

На рис. 2 подано UML-діаграму системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістрального трубопроводу, що містить набір відповідних класів, їх атрибутів та зв'язки між ними.

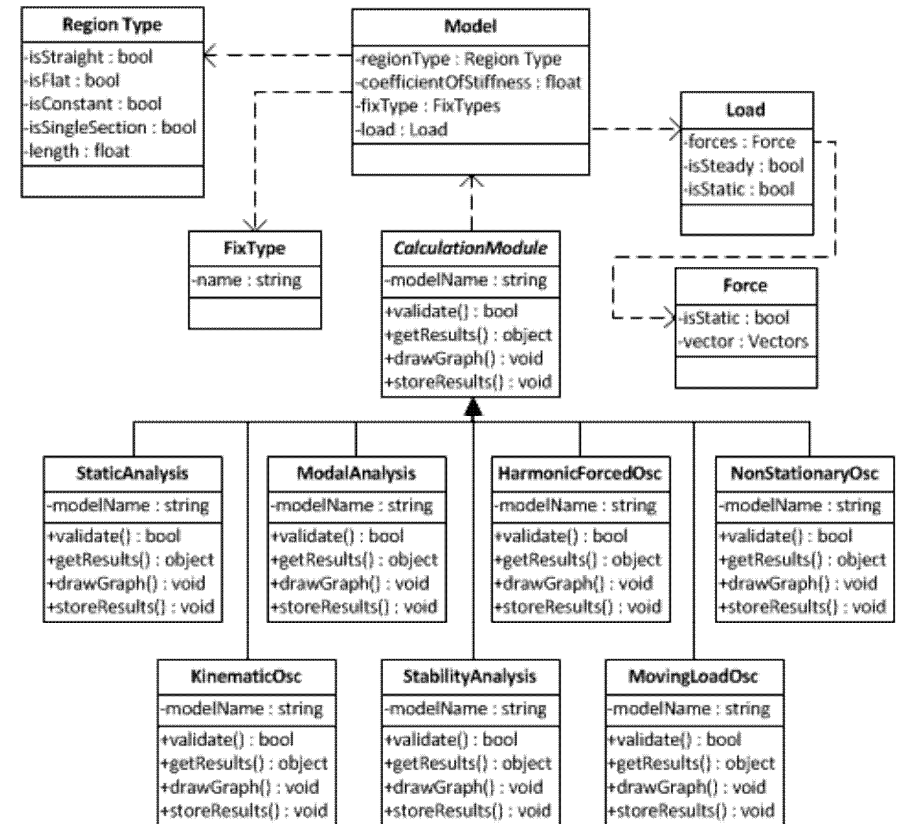


Рис. 2. UML-діаграма класів системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістрального трубопроводу

Математичні моделі і розрахункові алгоритми статичного розрахунку трубопроводів, модального аналізу, а також розрахунку гармонічних вимушених коливань і стійкості побудовані із застосуванням як технічної теорії стрижнів, так і неklasичної теорії балок С. Тимошенка і ґрунтуються на застосуванні матричного методу початкових параметрів, що сприяє спрощенню і систематизації обчислювальних процесів.

Для проведення аналізу поведінки трубопроводу під дією рухомого навантаження застосовано метод узагальнених переміщень у поєднанні з методом скінченних елементів, що дає змогу забезпечити необхідну точність інженерних розрахунків. Зауважимо, що об'єкт автоматизованого проектування – надземна ділянка магістрального трубопроводу – є статично невизначною пружною системою, розрахунок якої на стійкість і коливання необхідно здійснювати з урахуванням внутрішніх напружень. Особливо важливим у цих розрахунках є урахування напружень, зумовлених перепадами температури. У зв'язку з цим розглянемо вплив температурних перепадів на напружено-деформований стан механічної системи, що містить надземну і частини зв'язаних з нею підземних ділянок.

Для визначення розподілених по довжині трубопроводу сил взаємодії труби з ґрунтом скористаємося лінійною залежністю між дотичними напруженнями, що виникають на зовнішній поверхні труби, і осьовим переміщенням її поперечного перерізу,

$$\tau(x) = k_{\tau}u(x), \quad (1)$$

де k_{τ} – коефіцієнт пропорційності.

Тоді інтенсивність навантаження труби з боку ґрунту дорівнюватиме

$$q(x) = \pi D \tau(x), \quad (2)$$

де D – зовнішній діаметр труби.

Підставляючи залежність (1) у формулу (2), одержуємо

$$q(x) = q_0 u(x), \quad (3)$$

де

$$q_0 = \pi D k_{\tau}.$$

Розглянемо напружено-деформований стан прямолінійної ділянки трубопроводу, затиснутої у ґрунті і навантаженої осьовою силою, як показано на рис. 3.

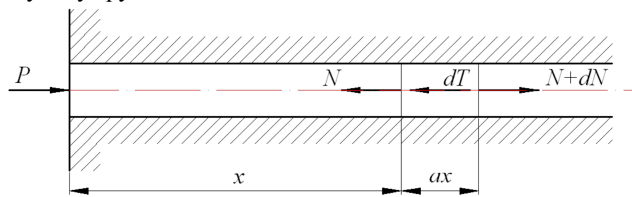


Рис. 3. Розрахункова схема підземної ділянки трубопроводу

Умову рівноваги нескінченно малого елемента труби довжиною dx запишемо у вигляді

$$-N - dT + N + dN = 0. \quad (4)$$

Поздовжню силу в трубі і зусилля взаємодії її елементарної ділянки зі зовнішнім середовищем запишемо як:

$$N = EA \frac{du}{dx}; \quad (5)$$

$$dT = q(x)dx, \quad (6)$$

де E, A – модуль пружності першого роду і площа поперечного перерізу труби.

З урахуванням залежності (5) одержуємо диференціал поздовжньої сили

$$dN = EA \frac{d^2u}{dx^2} dx. \quad (7)$$

Підставляючи вирази (6) і (7) до рівності (4) і беручи до уваги співвідношення (3), одержуємо рівняння деформованого стану підземної ділянки трубопроводу

$$EA \frac{d^2u}{dx^2} - q_0 u = 0. \quad (8)$$

Диференціальне рівняння (8) перетворимо до вигляду

$$\frac{d^2u}{dx^2} - k^2 u = 0, \quad (9)$$

$$\text{де} \quad k^2 = \frac{q_0}{EA}.$$

Крайові умови, які повинні задовольняти розв'язки диференціального рівняння (9), запишемо у вигляді

$$EA \frac{du}{dx} \Big|_{x=0} = -P; \quad EA \frac{du}{dx} \Big|_{x=\infty} = 0. \quad (10)$$

Розв'язок рівняння (9) шукаємо у вигляді

$$u(x) = C_1 e^{kx} + C_2 e^{-kx}, \quad (11)$$

де C_1 і C_2 – сталі коефіцієнти, які знаходимо з урахуванням крайових умов (10),

$$C_1 = 0; \quad C_2 = \frac{P}{EAk}. \quad (12)$$

Беручи до уваги співвідношення (11), (12), одержуємо

$$u = \frac{P}{EAk} e^{-kx}. \quad (13)$$

Визначимо внутрішні зусилля у трубопроводі, що містить надземну і прилегли до неї частини підземних ділянок, викликані збільшенням температури надземної ділянки на величину Δt , і знайдемо переміщення поперечних перерізів та дотичні напруження на зовнішніх поверхнях затиснутих у ґрунті ділянок. Для розв'язання задачі скористаємося тим, що абсолютне видовження надземної ділянки трубопроводу, обумовлене сумісною дією перепаду температури і поздовжньої сили,

$$\Delta l_2 = \alpha \cdot \Delta t \cdot l_2 - \frac{N_2 l_2}{EA} \quad (14)$$

дорівнює сумі осьових переміщень меж підземних ділянок з надземною

$$\Delta l_1 + \Delta l_3 = \frac{2N_2}{\sqrt{EAq_0}}. \quad (15)$$

У залежностях (14), (15) прийнято позначення: α – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу труби; l_2 – довжина надземної ділянки трубопроводу; N_2 – поздовжнє зусилля в надземній ділянці.

Прирівнюючи вирази (14) і (15), знаходимо зусилля N_2 у вигляді

$$N_2 = \alpha \cdot \Delta t \cdot l_2 \left(\frac{l_2}{EA} + \frac{2}{\sqrt{EAq_0}} \right)^{-1}. \quad (16)$$

Тоді переміщення поперечних перерізів підземної ділянки трубопроводу знайдемо, прийнявши у формулі (2) навантаження P рівним зусиллю N_2 ,

$$u = \frac{N_2}{EAk} e^{-kx}. \quad (17)$$

Поздовжню силу у поперечних перерізах підземної ділянки знаходимо з урахуванням залежностей (5), (17)

$$N = -N_2 e^{-kx}. \quad (18)$$

Дотичне напруженнями, що виникає на зовнішній поверхні труби, визначаємо з урахуванням залежностей (1), (17)

$$\tau = \frac{N_2 k_r}{EAk} e^{-kx}. \quad (19)$$

Отже, формула (16) дає змогу визначати поздовжнє зусилля у надземній ділянці магістрального трубопроводу з урахуванням перепаду температури і податливості прилеглих підземних ділянок, а залежності (17)–(18) – переміщення поперечних перерізів, поздовжню силу і дотичне напруження на зовнішній поверхні труби підземної ділянки трубопроводу.

На рис. 4–6 наведено результати розрахунків параметрів напружено-деформованого стану підземної ділянки трубопроводу, одержані за таких вихідних даних: $D = 0,5290$ м; $A = 0,01630$ м² (товщина стінки труби $\delta = 10$ мм); $E = 0,21 \cdot 10^{12}$ Па; $l_2 = 50$ м; $k_r = 1,0 \cdot 10^6$ Н/м³; $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-5}$ 1/град; $\Delta t = 10 \dots 50$ °.

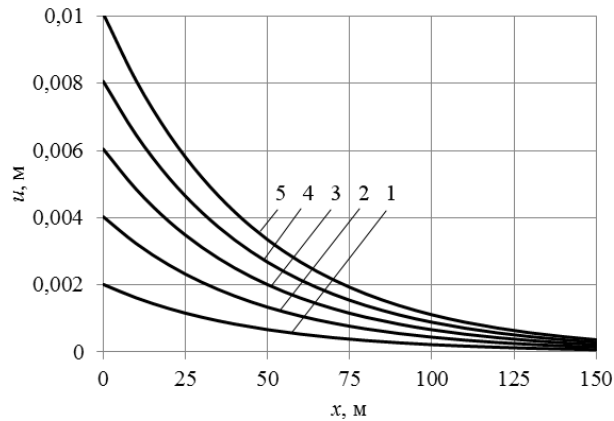


Рис. 4. Залежності переміщень поперечних перерізів підземної ділянки трубопроводу від поздовжньої координати: 1) $\Delta t = 10^\circ$; 2) $\Delta t = 20^\circ$; 3) $\Delta t = 30^\circ$; 4) $\Delta t = 40^\circ$; 5) $\Delta t = 50^\circ$

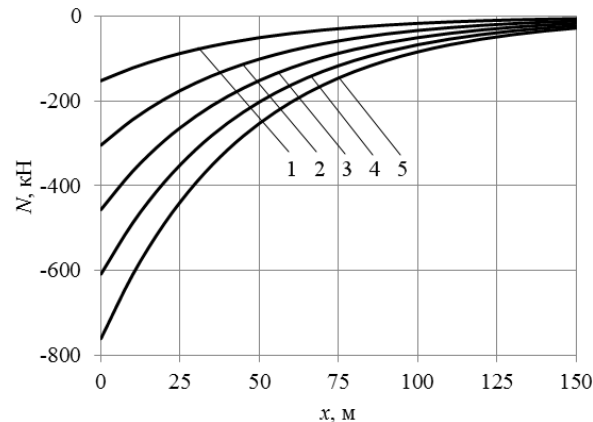


Рис. 5. Залежності поздовжньої сили у підземній ділянці трубопроводу від поздовжньої координати: 1) $\Delta t = 10^\circ$; 2) $\Delta t = 20^\circ$; 3) $\Delta t = 30^\circ$; 4) $\Delta t = 40^\circ$; 5) $\Delta t = 50^\circ$

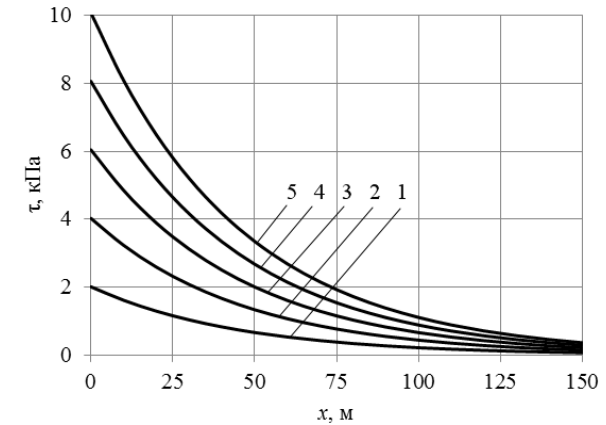


Рис. 6. Залежності дотичних напружень на зовнішній поверхні підземної ділянки трубопроводу від поздовжньої координати: 1) $\Delta t = 10^\circ$; 2) $\Delta t = 20^\circ$; 3) $\Delta t = 30^\circ$; 4) $\Delta t = 40^\circ$; 5) $\Delta t = 50^\circ$

Одержані розрахункові результати засвідчують істотний вплив температурних перепадів на внутрішні зусилля в трубопроводі, а також на напруження, що виникають на зовнішніх поверхнях його підземних ділянок. Треба зазначити, що аналіз напружено-деформованого стану надземної ділянки магістрального трубопроводу необхідно здійснювати з урахуванням податливості підземних ділянок та їх силової взаємодії з оточуючим середовищем.

Розроблена система автоматизованого розрахунку надземних ділянок магістральних трубопроводів дає змогу підвищити ефективність проектування нових і реконструкції існуючих трубопроводів за рахунок збільшення точності розрахунків на міцність, стійкість і коливання з урахуванням статичних, вітрових, сейсмічних навантажень, а також рухомих навантажень з боку інтелектуального поршня під час проведення діагностичних досліджень.

Висновки:

1. Розроблено структуру системи, яка ґрунтується на модульному принципі, що забезпечує швидку модифікацію системи.
2. Розроблено програмне забезпечення системи автоматизованого проектування надземних ділянок магістрального трубопроводу з використанням середовища Java, що дає змогу забезпечити платформонезалежність розробленої системи.
3. Побудовано низку уточнених математичних моделей динамічних процесів, які виникають у надземних ділянках трубопроводів, що сприяє підвищенню ефективності автоматизованого проектування магістральних трубопроводів.

Література

1. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1980. – 408 с.
2. Василенко М.В. Теорія коливань і стійкості руху : підручник / М.В. Василенко, О.М. Алексійчук. – К. : Вид-во "Вища шк.", 2004. – 525 с.
3. Горбунов-Посадов М.И. Расчёт конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1984. – 679 с.

4. ДСТУ – НБ В.2.3-21:2008. Магістральні трубопроводи. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами.
5. Банахевич Ю.В. Продовження ресурсу трубопровідного транспорту України / Ю.В. Банахевич, А.В. Драгілев, Ю.М. Дьомін та ін. – Львів : Вид-во "Сполом", 2012. – 280 с.
6. Биргер И.А. Расчёт на прочность деталей машин : справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – Изд. 3-е, [перераб. и доп.]. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1979. – 702 с.
7. Ржаницын А.Р. Строительная механика / А.Р. Ржаницын. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1991. – 440 с.
8. Светлицкий В.А. Механика стержней : учебник [для студ. ВУЗов] / В.А. Светлицкий. – В 2-х ч. – Ч. 1. Статика. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1987. – 320 с.
9. Светлицкий В.А. Механика стержней : учебник [для студ. ВУЗов] / В.А. Светлицкий. – В 2-х ч. – Ч. 2. Динамика. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1987. – 304 с.
10. Симвулиди Н.А. Расчёт инженерных конструкций на упругом основании / Н.А. Симвулиди. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1987. – 575 с.
11. СНиП 2.05.06-85. Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы. – М. : Изд-во офиц., 1985. – 50 с.
12. Теслюк В.М. Математичне моделювання згинних коливань прямолинійної ділянки трубопроводу під дією рухомого діагностичного поршня / В.М. Теслюк, Л.Є. Харченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. – К. : Вид-во Ін-та моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2013. – Вип. 69. – С. 126-135.
13. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек / С.П. Тимошенко. – М. : Изд-во "Наука", 1971. – 807 с.
14. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле : пер. с англ. Л.Г. Корнейчука / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1985. – 472 с.
15. Eugeniusz Rusinski. Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych / Rusinski Eugeniusz, Czmochoowski Jerzy, Smolnicki Tadeusz. – Wrocław : Otcyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2000. – 443 s.

В.М. Теслюк, Харченко Л.Є. Математическое и программное обеспечение системы автоматизированного проектирования надземных участков магистральных трубопроводов

Рассмотрена построенная на модульном принципе система автоматизированного проектирования надземных участков магистральных трубопроводов. Приведены структура и UML-диаграмма классов системы, описаны функции ее элементов и основные вычислительные модули. Особое внимание уделено формированию базы расчетных моделей надземных участков магистральных трубопроводов, а также разработке математического и программного обеспечения системы автоматизированного проектирования. Рассмотрено напряженно-деформированное состояние прямолинейного надземного участка трубопровода с учетом перепада температуры и податливости прилегающих подземных участков.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, магистральные трубопроводы, надземные участки, математическое и программное обеспечение.

Teslyuk V.M., Kharchenko L.Ye. Mathematical Modelling and Computer-Aided Design Software of Pipelines Aboveground Sections

A computer-aided design of aboveground sections of pipelines that is based on a modular fundamental is considered. The structure and the UML-diagram of the system are shown; the functions of its elements and key computational modules are described. Particular attention is paid to formation of calculation models database of aboveground sections of pipelines, as well as to the development of mathematical models and software of computer aided design. The stress-strain state of aboveground straight section of the pipeline is considered taking into account temperature and compliance nearby underground areas.

Keywords: computer-aided design, pipelines, aboveground sections, mathematical models, software.

УДК 004.[825+942]

Доц. О.І. Артеменко, канд. техн. наук;
ст. викл. Б.М. Гаць, канд. техн. наук; ст. викл.

С.Ф. Шевчук, канд. техн. наук – ПВНЗ "Буковинський університет"

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОГО РОЗВИТКУ ТУРИСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗА ДОПОМОГОЮ АСИНХРОННИХ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

Створено інформаційні технології для моделювання розвитку туристичної інфраструктури території з використанням асинхронних клітинних автоматів. Проведено критичний аналіз останніх досліджень технологій аналізу даних у туризмі та моделювання процесів розвитку урбаністичної інфраструктури. Обґрунтовано доцільність поєднання інтелектуальних технологій аналізу даних із функціональними можливостями геоінформаційних систем для розв'язання задач підтримки прийняття рішень та прогнозування розвитку інфраструктури в туризмі. Розроблено алгоритм побудови прогнозних карт розвитку туристичної інфраструктури регіону. Отримані результати комп'ютерних розрахунків дають змогу визначити місця, де в найближчі роки буде розвиватись туристичний бізнес.

Ключові слова: клітинна модель урбанізації, рекреаційний потенціал території, інформаційні технології, туристична інфраструктура.

Вступ. В останні десятиліття задачі планування та прогнозування зміни ландшафтів, рівня урбанізації та землекористування часто розв'язуються з використанням комп'ютерного моделювання та інформаційних технологій [1]. Для підприємців та аналітиків туристичної індустрії надзвичайно важливою є інформація про тенденції розвитку туристичної інфраструктури. Для цього необхідно мати програмні засоби побудови сценаріїв просторового розвитку об'єктів туристичної інфраструктури на території регіону.

Туристична інфраструктура розвивається там, де можна отримати дохід від ведення туристичного бізнесу. Тобто нові елементи інфраструктури будуть виникати на територіях із високим рівнем рекреаційної привабливості та довкола них. Застосування сучасних інформаційних технологій в поєднанні з математичними методами дає змогу отримувати прогнозні сценарії для складних природних явищ [2, 3] та соціально-економічних процесів [4]. Прогнозування складноконтрольованих процесів у туристичній галузі також здійснюється з допомогою комп'ютерного моделювання та інтелектуальних методів аналізу даних [5].

Постановка проблеми. Можливість передбачити зародження та розвиток туристичної інфраструктури сприятиме ефективному управлінню рекреаційними ресурсами, а також допоможе у прийнятті рішень туристичним інвесторам.

Мета роботи – створити алгоритм побудови прогнозних цифрових карт просторового розподілу об'єктів туристичної інфраструктури регіону.

Актуальність роботи полягає у вивченні можливостей використання інтелектуальних методів моделювання та клітинних автоматів для прогнозування соціально-економічних процесів у туристичній галузі.

Практична цінність дослідження полягає в тому, що результати прогнозування геометрії росту туристично-рекреаційних об'єктів можуть використовуватись для наукового обґрунтування стратегії розвитку регіону. Вони також є цікавими для підприємців, адже дають змогу виявити перспективні для розвит-