

АЕРОДИНАМІЧНИЙ ОПІР ШАХОВИХ ПАКЕТІВ ПЛОСКООВАЛЬНИХ ОРЕБРЕНИХ ТРУБ ПРИ МАЛИХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

© М. М. Вознюк, І. С. Башкір, О. М. Терех, В. А. Рогачов, О. І. Руденко

Виконані експериментальні дослідження аеродинамічного опору шахових пакетів плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням в діапазоні чисел Рейнольдса $600 < Re_{d_1} < 20000$. Запропоновані нові розрахункові залежності для визначення коефіцієнтів опору для $Re_{d_1} < 3000$, встановлений вплив основних геометричних та режимних параметрів на аеродинамічний опір пакетів. Розрахункові залежності можна рекомендувати до використання при розробці нових теплообмінних поверхонь для «сухих» градирень, апаратів повітряного охолодження та економайзерів-утилізаторів

Ключові слова: аеродинамічний опір, плоскоовальна труба, шаховий пакет, поперечне оребрення, розрахунок

Experimental investigations of aerodynamic drag of staggered bundles of flat-oval tubes with incomplete transversal fins in the range of Reynolds numbers $600 < Re_{d_1} < 20000$ are performed. New calculation correlations for determining of drag coefficients for $Re_{d_1} < 3000$ are suggested, the impact of basic geometric and regime parameters on aerodynamic drag of bundles are determined. The received calculation depending is possible to use in developing of heat transfer surfaces for “dry” cooling towers and air cooling apparatus and economizers

Keywords: aerodynamic drag, flat-oval tube, staggered bundles, transversal fins, calculation

1. Вступ

Зниження металоємності і габаритів теплообмінного енергетичного обладнання, особливо якщо прийняти до уваги, що значна частина його виготовляється з дефіцитних матеріалів (кольорові метали, спеціальні сталі і т. д.), набуває важливого народногосподарського значення. Ця задача може бути вирішена методами інтенсифікації теплообміну, зокрема застосуванням ефективних пакетів ребристих труб. Такі поверхні відрізняються високою компактністю, технологічністю, зручністю монтажу й обслуговування. До них можна віднести розробку НТУУ «КПІ» у вигляді пакету плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням [1, 2].

2. Постановка проблеми

Малі швидкості (0,5–3,0 м/с) омивання теплообмінних поверхонь з оребрених труб характерні для так званих „сухих” градирень поверхневого типу, що застосовуються у системах охолодження технічної або зворотної води. Крім того, у зв'язку з дорожчею паливного газу і, як наслідок – тотальна його економія в Україні, веде до зниження потужностей водогрійних котлів, що призводить до зниження швидкостей відхідних газів у трубчастих теплообмінних поверхнях до 2–3 м/с. Тому створення розрахункових співвідношень для визначення коефіцієнтів аеродинамічного опору пакетів труб різного поперечного профілю в області низьких швидкостей омивання їх повітряним потоком є першорядним завданням при створенні, проектуванні та реконструюванні різноманітних теплообмінних пристроїв і зокрема, „сухих” систем охолодження, економайзерів-утилізаторів, апаратів повітряного охолодження та інш.

3. Аналіз літературних джерел

Попередній аналіз отриманих експериментальних даних і існуючого в літературі досвіду узагальнення результатів досліджень аеродинамічного опору різноманітних трубчастих теплообмінних поверхонь показав, що при обробці дослідних даних з опору пакетів ребристих труб в якості основного параметру, який враховує вплив геометрії оребрених труб, доцільно приймати коефіцієнт оребрення ψ [1–3] або приведену довжину H/F [4–8]. При цьому числа Рейнольдса рекомендується визначати за поперечним розміром плоскоовальної труби d_1 . В якості параметра, який враховує залежність опору від геометрії розміщення труб в пакетах слід використовувати параметр S_1/S_2 (відношення поперечного кроку труб до поздовжнього). Параметр S_1/S_2 , як ідентифікатор розміщення труб, має переваги в порівнянні з відносними кроками S_1/d_1 , S_2/d_2 , т.я. скорочує число змінних в узагальнюючих формулах та підвищує їх точність і універсальність [5–9].

4. Методика та об'єкт дослідження

Експериментальні дослідження аеродинамічного опору шахових пакетів плоскоовальних труб з неповним оребренням (рис. 1) при поперечному їх обтіканні повітряним потоком здійснювалися на експериментальній установці, що представляє собою аеродинамічну трубу розімкненого типу прямокутного перетину за обґрунтованими методиками, які детально описані та викладені в [5].

Досліджувався один типорозмір труби, який використовувався і в дослідженнях теплообміну [10]. Геометричні характеристики плоскоовальної оребреної труби наведені у табл. 1.

Таблиця 1
Геометричні характеристики оребреної труби

Найменування величини	Позначення	Значення
Поперечний розмір труби	d_1 , мм	15,0
Поздовжній розмір труби	d_2 , мм	30,0
Висота ребер	h , мм	19,0
Крок ребер	t , мм	4,0
Відносне видовження профіля	d_2/d_1	2,0
Коефіцієнт оребрення	ψ	14,24

Дослідження аеродинамічного опору виконано для шести шахових пакетів, що відрізнялися кроковими характеристиками труб S_1 (поперечний крок між трубами) та S_2 (поздовжній крок), які представлені у табл. 2. Кількість рядів у пакеті вздовж та поперек потоку відповідно складала $z_2=6$, $z_1=3-4$.

Втрати тиску ΔP визначалися за різницею статичних тисків до і після пакету з урахуванням втрат на тертя та місцевих опорів у проточній частині стенда. За величинами перепадів ΔP визначалися

числа Ейлера, які віднесені до одного поперечного ряду пакета труб z_2

$$Eu_0 = \frac{\Delta P}{\rho \cdot W^2 \cdot z_2} \quad (1)$$

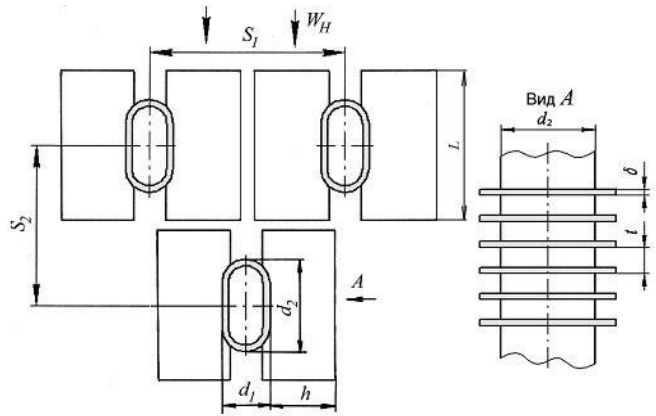


Рис. 1. Шаховий пакет плоскоовальних труб з неповним оребренням

Таблиця 2
Геометричні характеристики пакетів труб та дослідні постійні n , C_S в формулі (2) для $600 < Re_{d_1} < 3000$

№ пучка	S_1 , мм	S_2 , мм	S_1/S_2	n	C_S
1	60,0	100,0	0,600	0,896	624,4
2	60,0	67,0	0,896	0,889	571,5
3	64,5	60,0	1,075	0,877	520,3
4	101,3	80,0	1,266	0,861	487,8
5	86,0	60,0	1,433	0,891	414,0
6	111,3	60,0	1,855	0,860	310,6

5. Результати досліджень

Дослідження аеродинамічного опору шахових пакетів плоскоовальних оребрених труб виконані в діапазоні чисел Рейнольдса $600 < Re_{d_1} < 20000$, що відповідає інтервалу швидкостей у „живому” перерізі пакету (0,6–20) м/с. За визначальний розмір в числах Рейнольдса приймався поперечний розмір несучої труби d_1 . За розрахункову швидкість повітря в числах Re і Eu приймалася швидкість в найбільш вузькому поперечному „живому” перетині пакету.

Результати цих досліджень подані в логарифмічних координатах у вигляді залежностей $Eu_0 = f(Re_{d_1})$ на рис. 2. Як видно, в області $Re_{d_1} < 3000$ дослідні значення чисел Ейлера мають більший кут нахилу, ніж числа Ейлера в області $Re_{d_1} > 3000$, тобто при $Re_{d_1} \approx 3000$ настає очевидне змінення режиму течії при омиванні пакетів труб.

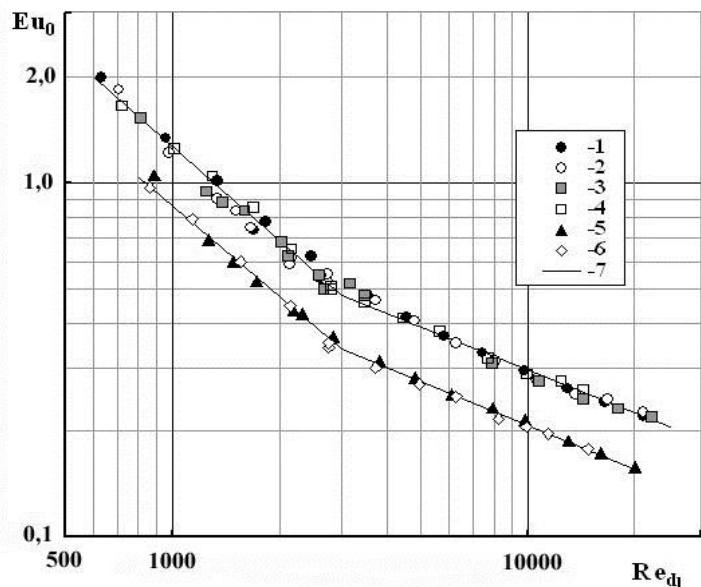


Рис. 2. Залежність чисел Ейлера від чисел Рейнольдса при $600 < Re_{d_1} < 20000$: 1 – пакет № 1; 2 – пакет № 2; 3 – пакет № 3; 4 – пакет № 4; 5 – пакет № 5; 6 – пакет № 6; 7 – осереднені криві

Дослідні дані з аеродинамічного опору достатньо добре узагальнюються степеневою залежністю для областей, як при $Re_{d_1} > 3000$, так і при $Re_{d_1} < 3000$

$$Eu_0 = C_s \cdot Re_{d_1}^{-n} \quad (2)$$

В області чисел Рейнольдса $3000 < Re_{d_1} < 20000$ дані з опору досліджених пакетів труб (табл. 2) задовільно корелюються із залежностями, які отримані в роботі [1].

Для більш детального аналізу впливу зміння геометричних характеристик пакету труб, на рис. 3 представлені експериментальні дані залежності чисел Ейлера від чисел Рейнольдса досліджених пакетів труб (табл. 2) в області $Re_{d_1} < 3000$.

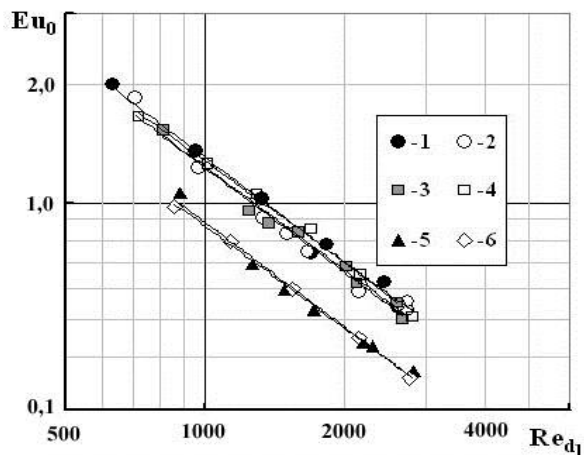


Рис. 3. Залежність чисел Ейлера від чисел Рейнольдса при $600 < Re_{d_1} < 3000$: 1 – пакет № 1; 2 – пакет № 2; 3 – пакет № 3; 4 – пакет № 4; 5 – пакет № 5; 6 – пакет № 6

Представлені на цьому рисунку дані свідчать про їх розширення за параметром розміщення S_1/S_2 . Для пакетів труб №№ 1–4, які мають відношення кроків S_1/S_2 0,6...1,266, розширення даних набувають мінімальних значень, а для $S_1/S_2 > 1,266$ – більших значень. Із зростанням S_1/S_2 від 0,6 до 1,855 числа Ейлера зменшуються на 35...40% в усьому діапазоні чисел Рейнольдса $600 < Re_{d_1} < 3000$.

Показник степені n при числі Рейнольдса у формулі (2) також зменшується із зростанням S_1/S_2 , але більш повільно в діапазоні від 0,9 до 0,86 (рис. 4). Дослідами встановлено, що для досліджених типорозмірів пакетів (табл. 2) і для пакетів з [1] n не залежить від коефіцієнта оребрення ψ .

Коефіцієнт C_s суттєво зменшується із зростанням S_1/S_2 приблизно у 2 рази, як для досліджених пакетів труб (табл. 2), так і для пакетів з [1] при однакових коефіцієнтах оребрення ψ (рис. 5). Залежність величин коефіцієнтів C_s від параметру S_1/S_2 підпорядковується закону „гіперболічного” тангенсу.

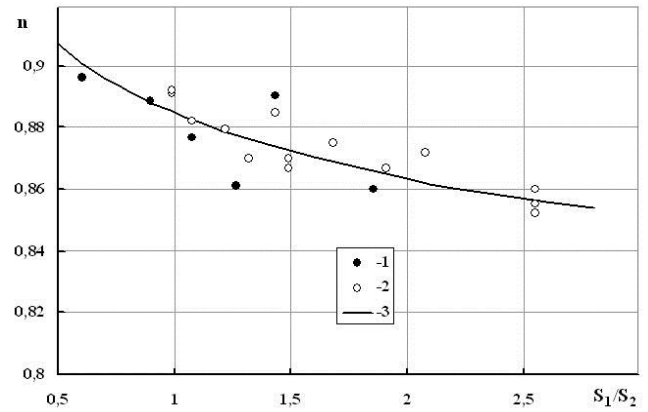


Рис. 4. Залежність показника степені n від параметра S_1/S_2 при $600 < Re_{d_1} < 3000$: 1 – значення n , табл. 2; 2 – екстрапольовані значення n в область $Re_{d_1} < 3000$ [1]; 3 – розрахункова крива

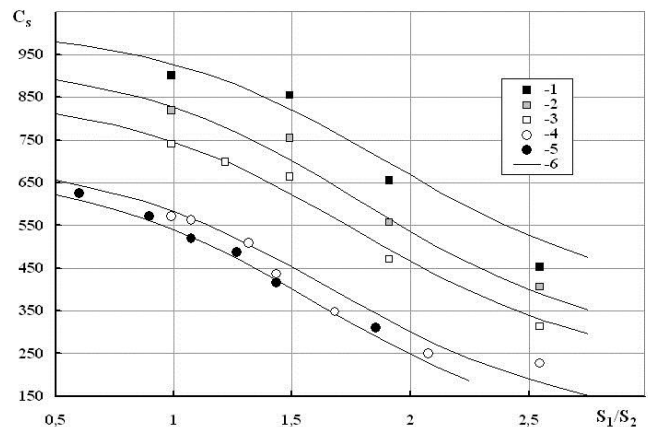


Рис. 5. Залежність коефіцієнта C_s у формулі (2) від параметра S_1/S_2 в області $600 < Re_{d_1} < 3000$: 1–4 – екстрапольовані в область $Re_{d_1} < 3000$ дані [1], $\psi=21,5$, $\psi=18,47$, $\psi=17,68$, $\psi=15,16$, відповідно; 5 – досліджені пакети, $\psi=14,24$; 6 – розрахункові криві

Представлені на цьому ж рисунку дані свідчать також про розширення дослідних (табл. 2) та залучених з [1] і екстрапольованих в область $Re_{d_1} < 3000$ величин C_s за коефіцієнтом оребрення ψ . Тобто, коефіцієнт C_s залежить, як від відношення кроків між трубами, так і від коефіцієнта оребрення ψ .

Поля дослідних даних на рис. 4 та 5, що відповідають розкиду значень по відношенню до усереднених апроксимуючих кривих для показника n не перевищує $\pm 2\%$, а для коефіцієнта C_s - $\pm(15-20)\%$.

З урахуванням отриманих даних з аеродинамічного опору (табл. 2, рис. 4, 5) та залучених і екстрапольованих в область $Re_{d_1} < 3000$ даних [1], співвідношення для розрахунків значень n та C_s набувають вигляд

$$n = 0,885 \cdot \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{-0,035} \quad (3)$$

$$C_s = -320 \cdot th \left[\frac{S_1}{S_2} - (0,695 \cdot \ln(\psi) - 0,223) \right] + (810 \cdot \ln(\psi) - 1790). \quad (4)$$

Таким чином, за результатами експериментальних досліджень отримана нова система рівнянь (2)–(4), що дозволяє в інтервалі малих чисел Рейнольдса $600 < Re_{d_i} < 3000$ розраховувати коефіцієнти аеродинамічного опору шахових пакетів плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням. Похибка розрахункової формули (2) не перевищує $\pm 20\%$.

6. Висновки

Запропонована система співвідношень дозволяє проводити розрахунки коефіцієнтів аеродинамічного опору шахових пакетів плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням в області малих (0,6...3) м/с швидкостей омивання повітряним потоком в інтервалі їх геометричних характеристик: $\psi = 14...21,5$; $S_1/S_2 = 0,6...2,5$.

Розрахункові співвідношення можуть бути застосовані при розробці нових високоефективних теплообмінних апаратів повітряного охолодження, економайзерів-утилізаторів, які працюють в умовах знижених теплових навантажень, а також у «сухих» градирнях.

Література

1. Багрий, П. І. Узагальнений метод розрахунку аеродинамічного опору поперечно-омиваних шахових пакетів труб плоскоовального профілю з неповним оребренням [Текст] / П. І. Багрий, Є. М. Письменний, О. М. Терех, В. Д. Бурлей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Т. 3, № 5 (33). – С. 57–61.
2. Письменний, Є. М. Аеродинамічний опір коридорних пакетів плоско-овальних труб з неповним оребренням [Текст] / Є. М. Письменний, О. М. Терех, О. В. Семеняко, В. А. Кондратюк // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2010. – № 1. – С. 24–29.
3. Локшин, В. А. Обобщение материалов по экспериментальному исследованию сопротивлений ребристых пучков труб [Текст] / В. А. Локшин, В. Н. Фомина // Теплоэнергетика. – 1978. – № 6. – С. 36–39.
4. Кэйс, В. М. Компактные теплообменники [Текст] / В. М. Кэйс, А. Л. Лондон. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 160 с.
5. Письменний, Є. Н. Теплообмен и аэродинамика пакетов поперечно-оребранных труб [Текст] / Є. Н. Письменний. – Киев: Альтерпрес, 2004. – 244 с.
6. Шаповал, О. Е. Аэродинамическое сопротивление поперечно-омываемых коридорных пучков труб с разрезным оребрением [Текст] / О. Е. Шаповал, Е. Н. Пись-

менный, А. М. Терех // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23, № 4-5. – С. 63–68.

7. Письменний, Є. Н. Расчет конвективных поперечно-оребранных поверхностей нагрева [Текст] / Є. Н. Письменний. – Киев: Альтерпрес, 2003. – 184 с.

8. Pis'mennyi, E. N. Universal relations for calculation of the drag of transversely finned tube bundles [Text] / E. N. Pis'mennyi, A. M. Terekh, G. P. Polupan, I. Carvajal-Mariscal, F. Sanchez-Silva // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – Vol. 73. – P. 293–302. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.02.013

9. Стасюлявичюс, Ю. К. Теплоотдача поперечно-обтекаемых пучков ребристых труб [Текст] / Ю. К. Стасюлявичюс, А. Ю. Скринска. – Вильнюс: Минтис, 1974. – 243 с.

10. Вознюк, М. М. Теплообмін поперечно-омиваних шахових пучків плоскоовальних оребрених труб при малих числах Рейнольдса [Текст] / М. М. Вознюк, О. М. Терех, В. А. Рогачов, А. В. Баранюк // ScienceRise. – 2015. – Т. 5, № 2 (10). – С. 36–40. doi: 10.15587/2313-8416.2015.42378

References

1. Bagriy, P. I., Pis'mennyi, E. N., Terekh, A. M., Burrey, V. D. (2008). Generalized method of calculation of aerodynamic drag of staggered bundles of flat-oval tube with incomplete fins in cross flow. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/5 (33), 57–61.
2. Pis'mennyi, E. N., Terekh, A. M., Semenyako, A. V., Kondratyuk, V. A. (2010). Aerodynamic drag of the in-line bundles of flat-oval tube with incomplete fins. Energy: economy, technologies, ecology, 1, 24–29.
3. Lokshin, V. A., Fomina V. N. (1978). Generalization materials of experimental research of drags of the finned tubes banks. Thermal Engineering, 6, 35–39.
4. Case, V. M., London, A. L. (1962). Compact heat exchangers. Moscow: Gosenergoizdat, 160.
5. Pismennyi, E. N. (2004). Heat transfer and aerodynamics in banks of transversely finned tubes. Kiev: Alterpress, 244.
6. Shapoval, O. E., Pismennyi, E. N., Terekh, A. M. (2001). Aerodynamic drag of the in-line tube bundles with cut spiral fins in cross flow. Industrial Heat Engineering, 23 (4–5), 63–68.
7. Pismennyi, E. N. (2003). Calculation of convective heat transfer surfaces with transversely fins. Kiev, Ukraine: Alterpress, 184.
8. Pis'mennyi, E. N., Terekh, A. M., Polupan, G. P., Carvajal-Mariscal, I., Sanchez-Silva, F. (2014). Universal relations for calculation of the drag of transversely finned tube bundles. International Journal of Heat and Mass Transfer, 73, 293–302. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.02.013
9. Stasiulevicius, J., Skriniska, A. (1974). Heat transfer in banks of finned tubes in crossflow. Vilnius, USSR: Mintis, 243.
10. Vozniuk, M. M., Terekh, A. M., Rogachov, V. A., Baranyuk, A. V. (2015). Heat transfer of a staggered fining flat-oval tube banks in cross flow at the small Reynolds numbers. ScienceRise, 5/2 (10), 36–40. doi: 10.15587/2313-8416.2015.42378

Дата надходження рукопису 22.05.2015

Вознюк Максим Михайлович, аспірант, кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна 03056

E-mail: maksimvoznuyuk@gmail.com

Башкір Іванна Сергіївна, кафедра теплоенергетичних установок теплових та атомних електричних станцій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна 03056

E-mail: bashkir.ivanna@gmail.com

Терех Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна 03056

E-mail: terem57@meta.ua

Рогачов Валерій Андрійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна 03056

E-mail: valeriy_rogachov@ukr.net

Руденко Олександр Ігоревич, кандидат технічних наук, доцент, кафедра економіки і підприємництва, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна 03056

E-mail: a_rudenko55@mail.ru

УДК 004.418:528

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.44347

ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ МІСЬКИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ З ВІДКРИТИМ КОДОМ

© В. П. Ткаченко, М. І. Губа, В. Д. Овраменко, О. П. Зелений

Розглядаються концептуальні засади створення інструментальних засобів міської геоінформаційної системи (МГІС) на базі програмних продуктів з відкритим кодом. Наводиться організаційно-технічна структура МГІС, основні положення її концептуальної архітектури, функції інструментальних засобів та засоби їх реалізації. Запропонована раціональна організація інформаційних ресурсів міського господарства для створення функціональних підсистем МГІС, наведено приклади її впровадження

Ключові слова: міська геоінформаційна система, інструментальні засоби, базові інформаційні ресурси, програмне забезпечення

Conceptual principles of the creation of Urban Geographic Information System (UGIS) tools based on software products with open source are considered. Organizational and technical structure of UGIS, the basic provisions of its conceptual architecture, tool software modules functions and their means of implementation are provided. Rational organization of municipal information resources for functional UGIS subsystem creations is proposed, and the examples of its implementation are provided

Keywords: urban geographic information system, tools, basic tools, software

1. Вступ

Сучасне місто являє собою складну, територіально-розподілену, соціально-економічну й господарську систему. Управління такою системою вимагає створення й впровадження ефективних механізмів, що базуються на сучасних інформаційних технологіях. Важливу роль у реалізації ефективних механізмів управління територіально-розподіленими об'єктами відіграють сьогодні геоінформаційні системи й технології, що надають унікальні можливості просторового моніторингу міської інфраструктури з метою прийняття ефективних управлінських рішень [1].

2. Аналіз стану проблеми розробки МГІС

Аналіз сучасного стану впровадження інформаційних технологій в процесі управління міським господарством свідчить про те, що в Україні, у Росії як і у світі в цілому уже є певний досвід розробки й експлуатації геоінформаційних систем [2]. Міські інформаційні системи і їх підсистеми створюються й впроваджуються в містах: Києві, Харкові [3], Дніпропетровську, Вінниці, Москві, Уфі, Пермі, Новосибірську й ін. Практика впровадження цих систем дає підставу зробити наступні висновки:

– інтегруючою основою, яка дозволяє комплексно вирішувати економічні, політичні, соціальні й

природоохоронні завдання на території міста, є географічна інформація, тому що всі завдання управління містом так чи інакше пов'язані з місцем розташування об'єктів, суб'єктів або подій на даній території [4];

– ефективне застосування сучасних інформаційних технологій для планування розвитку, оперативного управління міським господарством потребує створення єдиної загальноміської системи збору, збереження й розподіленої обробки просторової інформації загального користування.

Одним із найважливіших завдань, яке необхідно розв'язати в процесі проектування й впровадження МГІС, є проблема вибору інструментального програмного забезпечення, здатного реалізувати багаторівневу систему із централізованим зберіганням даних і розподіленою їх обробкою за технологією «клієнт-сервер». Існуючі комерційні програмні засоби різних закордонних фірм здатні реалізувати найскладніші прикладні геоінформаційні системи із колективним доступом і розподіленою обробкою інформації. Особливе місце в переліку інструментальних геоінформаційних систем займають програмні засоби фірми ESRI (США), які дозволяють будувати масштабовані ГІС – від локальних (настільних), до корпоративних. Однак істотним недоліком подібних інструментальних програмних засобів є їх висока вар-