

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 28 (67) № 1 2017

**Київ
2017**

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, в. о. директора Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, в. о. завідувача кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Горбовий Артур Юліанович – доктор технічних наук, професор, в. о. завідувача кафедри інформаційної діяльності та документознавства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, в. о. завідувача кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Кузьменко Борис Володимирович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності безпека і управління інформацією, відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 1 від 29.08.2017 року).**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 22895-12795Р від 11.08.2017 року)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ЗМІСТ

Гуйда О.Г., Петрова В.М., Бондарук О.А. ВИБІР ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ.....	1
Dychko A.O., Opolinskyi I.O., Minaieva Yu.Yu., Hrebenuk T.V. TECHNOLOGY OF BIOMASS CHEMICAL DISINTEGRATION IN ANAEROBIC DIGESTION OF ORGANIC WASTE.....	6
Еремеев И.С., Ещенко А.И. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ В ЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ ЖИЛЫХ ДОМОВ.....	11
Жук О.В., Романюк А.В., Байдур О.В. ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТУ СТОХАСТИЧНОГО РЕЗОНАНСУ ПІД ЧАС ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ.....	15
Лысенко А.И., Алексеева И.В., Тачинина Е.Н. АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОДСКАЗЧИКА ДЛЯ ОПЕРАТОРА, УПРАВЛЯЮЩЕГО ГРУППОЙ БПЛА.....	19
Лысенко А.И., Явися В.С. СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ.....	23
Матвійчук О.С., Кузьменко Б.В. ПРО ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В УКРАЇНІ.....	27
Прищепя Т.О. МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ІЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ АЕРОПЛАТФОРМАМИ.....	31
Романюк А.В., Давидюк В.О. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МАСШТАБОВАНИХ AD-NOS МЕРЕЖ.....	35
Соболев В.А. К ПРОЕКТУ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА БЕСПЛОДНЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.....	41
Соболев В.О. ПРО МОЖЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПОРОШКОВИХ ЗАСОБІВ ВОГНЕГАСІННЯ ТА ВИБУХОПОПЕРЕДЖЕННЯ.....	47
Явися В.С., Петрова В.М. СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ АБОНЕНТІВ ПЕРСОНАЛЬНОГО СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	55

CONTENTS

Guyda O.G., Petrova V.N., Bondaruk O.A. SELECTION OF ROUTING PROTOCOL USING IMITATION MODELING OF WIRELESS SENSOR NETWORK.....	1
Dychko A.O., Opolinskyi I.O., Minaieva Yu.Yu., Hrebenuk T.V. TECHNOLOGY OF BIOMASS CHEMICAL DISINTEGRATION IN ANAEROBIC DIGESTION OF ORGANIC WASTE	6
Yeremeyev I.S., Yeshchenko A.I. ENERGOFFICIENCY AND ECOLOGICAL COMPATIBILITY OF APARTMENT HOUSES	11
Zhuk O.V., Romaniuk. A.V., Baydur O.V. USE OF THE STOCHASTIC RESONANCE EFFECT IN TRANSMISSION OF INFORMATION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS.....	15
Lysenko O.I., Alekseeva I.V., Tachinina O.M. ALGORITHM OF SMART PROMPTER FOR OPERATOR OF UAVS GROUP.....	19
Lysenko O.I., Yavisya V.S. A METHOD OF PROVIDING THE QUALITY OF UNMANNED AIRCRAFT CONTROL CHANNEL.....	23
Matviychuk A.S., Kuzmenko B.V. ON SOME ISSUES OF ENERGY EFFICIENCY IN UKRAINE.....	27
Pryshchepa T.O. METHOD TO INCREASE THE THROUGHPUT OF MOBILE SENSOR NETWORKS WITH TELECOMMUNICATIONS AIRPLANES	31
Romaniuk. A.V., Davydiuk V.O. PROVIDING STABILITY OF THROUGHPUT OF SCALABLE AD-HOC NETWORK.....	35
Sobolev V.A. TO THE PROJECT OF ECOLOGICALLY CLEAN AND SAFE VITAL ACTIVITY ON BARREN AND POLLUTED TERRITORIES.....	41
Sobolev V.A. ON THE POSSIBILITY OF MANUFACTURE OF POWDER EXTINGUISHING FACILITIES AND EXPLOSION SUPPRESSION	47
Yavisya V.S., Petrova V.N. A METHOD OF IMPROVING THE QUALITY OF SERVICE FOR PERSONAL SATELLITE COMMUNICATIONS.....	55

УДК 621.396.946

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Петрова В.М.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Бондарук О.А.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИБІР ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Запропонована імітаційна модель вибору протоколу маршрутизації в безпроводній сенсорній мережі, що дає змогу дослідити вплив щільності мережі, мережевого навантаження, розміру пакетів на якість обслуговування.

Ключові слова: маршрутизація, мережа, навантаження.

Постановка проблеми. Безпроводні сенсорні мережі складаються з великої кількості автономних пристроїв, централізоване управління такою мережею зазвичай відсутнє. Тому для таких мереж необхідно використовувати агентні імітаційні моделі. Найважливішою їх властивістю є можливість розширення їхніх функціональних можливостей (включення нових протоколів, методів управління трафіком та ін.) користувачами цих пакетів.

Постановка завдання. У роботі для імітаційного моделювання використовувалася система DaSSF. DaSSF (Dartmouth SSF) – це реалізована на C++ система SSF (Scalable Simulation Framework). SSF – уніфікований, об'єктно орієнтований API для симуляції великих систем. Реалізація DaSSF заснована на високопродуктивному ядрі, що має великий запас продуктивності паралельних обчислень системи імітаційного моделювання. SSF API надає п'ять базових класів: Entity, Process, Event, inChannel, outChannel.

Виклад основного матеріалу.

Перевірка імітаційної моделі

Для реалізованої імітаційної моделі необхідна перевірка на відповідність її поведінки задумам дослідження і моделювання. Така перевірка включала в себе дві категорії оцінки – верифікацію

моделі та валідацію даних концептуальної моделі на основі забезпечення максимальної схожості з останньою.

Для верифікації протоколів маршрутизації було проведено їх покрокове трасування. Для протоколів FSR і DSFSR було досліджено час поширення маршрутної інформації. Так, для протоколу FSR час оновлення маршрутної інформації в ідеальних умовах може бути аналітично обчислено як

$$t = \begin{cases} n \cdot t_r \cdot \text{int}_1, n < n_1 \\ n_1 \cdot t_r \cdot \text{int}_1 + (n - n_1) \cdot t_r \cdot \text{int}_2, n_1 < n < n_2 \\ n_1 \cdot t_r \cdot \text{int}_1 + (n_2 - n_1) \cdot t_r \cdot \text{int}_2 + (n - n_1 - n_2) \cdot t_r \cdot \text{int}_3, n_2 < n < n_3 \\ \dots \end{cases}$$

У цій формулі

n_i – кількість хопів зони;

int_i – інтервал оновлення зони;

t_r – мінімальний інтервал оновлення.

Для протоколу DSFSR цей час може бути обчислено як $t = n \cdot t_r \cdot \text{int}_1$. Покрокове трасування протоколів маршрутизації показало принципову відповідність їхньої роботи до теоретичних припущень, а також правильність обробки вхідних даних.

Для оцінки стійкості даних було досліджено зміну дисперсії вихідних даних за збільшення часу моделювання. Було проведено дослідження мережі зі 100 вузлів. Для маршрутизації використовувався протокол FSR. Дисперсія досліджувалася за вибіркою обсягом 100. Оцінюваним параметром було обрано значення критерію максимального середнього часу доставки. Таким чином, були отримані такі дані (таблиця 1).

Таблиця 1

Дисперсія для критерію оцінки якості

Час моделювання	Дисперсія для критерію максимального середнього часу доставки
1 хвилини	0,310
2 хвилини	0,270
3 хвилини	0,120
5 хвилин	0,092
8 хвилин	0,087
10 хвилин	0,081

За збільшення часу моделювання дисперсія не збільшується, таким чином, можна дійти висновку про стійкість отриманих даних.

Для оцінки точності в імітаційну модель був включений клас Validation. Оцінка точності здійснюється у два етапи. Перший етап включає в себе перевірку нормальності розподілу отриманих даних за допомогою критерію Колмогорова.

Згідно з цим критерієм міра відхилення емпіричної функції розподілу $F_n^*(x)$ від гіпотетичної функції розподілу $F(x)$ визначається таким чином:

$$D_n = D\{F_n^*, F\} = \sup_x |F_n^*(x) - F(x)|$$

Гіпотеза про відповідність функції розподілу до гіпотетичної приймається на рівні значущості α , якщо $\sqrt{n}D_n \leq k_\alpha$, де k_α – квантиль розподілу Колмогорова.

На другому етапі обчислюється інтервал довіри для отриманих даних. Для цього використовується вибіркова дисперсія для вибірки (X_1, X_2, \dots, X_n) :

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Тоді значення математичного очікування отриманого значення лежить в інтервалі з кінцями в точках

$$\bar{X} - t_{\frac{1+\alpha}{2}, n-1} \frac{S}{\sqrt{n-1}}; \quad \bar{X} + t_{\frac{1+\alpha}{2}, n-1} \frac{S}{\sqrt{n-1}}$$

Тут $t_{\frac{1+\alpha}{2}, n-1}$ – процентилі розподілу Стюдента, що можуть бути отримані з їх таблиць. Оцінка

Таблиця 2

Якість доставки даних за зміни щільності

Щільність	DSFSR			FSR		
	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втраг	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втраг
4	0,42	19,66	1,54	0,56	22,7	1,59
5	0,41	18,92	1,45	0,52	21,06	1,47
6	0,35	17,14	1,43	0,48	20,66	1,44
7	0,26	15,03	1,38	0,44	20,54	1,38
8	0,19	13,2	1,35	0,43	19,01	1,36
9	0,2	11,41	1,33	0,31	11,81	1,33
10	0,19	9,79	1,32	0,19	9,67	1,32
11	0,16	4,94	1,28	0,18	5,21	1,29
12	0,15	3,26	1,26	0,16	3,28	1,26
13	0,19	4,84	1,23	0,2	4,91	1,24
14	0,24	7,31	1,2	0,29	7,43	1,21
15	0,37	8,31	1,21	0,36	8,47	1,2
16	0,51	9,01	1,19	0,51	9,36	1,21
17	0,62	10,13	1,11	0,61	11,24	1,08
18	0,75	11,24	1,05	0,75	12,35	1,01
19	0,85	12,64	0,98	0,85	13,39	0,91

точності проводиться безпосередньо у процесі імітаційного моделювання.

Дослідження впливу щільності мережі на якість обслуговування

У цьому дослідженні щільність мережі оцінюється як середня кількість «сусідів» для влаштування мережі. Для зміни цього параметра змінювалася площа території, на якій працює бездротова мережа. Під час розглянутого експерименту змінюється ще один важливий параметр – діаметр

мережі. Результати експерименту представлені в таблиці 2.

У мережі з високою щільністю протоколи маршрутизації можуть працювати більш ефективно, оскільки у цьому разі використовується відносно невелика кількість проміжних вузлів-маршрутизаторів. Проте в таких мережах збільшується ймовірність виникнення колізій, що знижує ефективність роботи мережі. У мережах з високою щільністю протоколи маршрутизації показують приблизно

Таблиця 3

Якість доставки даних за зміни мережевого навантаження

Щільність	DSFSR			FSR		
	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втрат	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втрат
70	5,25	50,24	9,38	5,21	49,42	8,59
60	4,31	42,35	6,91	4,25	42,27	5,83
50	4,01	35,3	4,48	3,97	35,24	4,35
40	3,35	25,74	3,46	3,28	24,71	3,11
30	2,97	20,11	2,74	2,98	20,54	2,7
20	1,77	14,98	2,52	1,87	15,48	2,52
16	1,47	14,01	2,3	1,57	14,27	2,31
12	1,25	12,87	2,08	1,25	13,21	2,11
6	1,09	11,9	1,86	1,11	11,98	1,87
4	0,87	10,92	1,64	0,94	11,23	1,62
3	0,82	9,87	1,42	0,86	10,51	1,41
2	0,82	9,71	1,2	0,86	11,05	1,21
1	0,83	9,58	0,98	0,85	12,87	0,99

Таблиця 4

Якість доставки даних за зміни розміру пакетів

Щільність	DSFSR			FSR		
	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втрат	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втрат
80	5,24	48,67	10,25	4,97	45,97	9,93
65,5	4,15	41,79	7,38	4,01	40,12	7,02
50	3,98	35,21	4,48	3,78	35,18	4,35
40	3,24	25,57	3,01	3,34	28,92	2,72
30	2,84	19,89	2,71	2,89	22,57	2,7
20	1,74	14,68	2,42	1,91	15,29	2,45
16	1,46	13,69	2,34	1,49	13,79	2,46
12	1,21	12,58	2,07	1,37	13,24	2,17
6	1,06	11,87	1,84	1,14	11,97	1,86
5,3	0,84	10,9	1,62	0,88	11,01	1,63

однакові значення критеріїв оцінки якості. За зменшення щільності мережі ймовірність колізії зменшується, однак зростає число ретрансляції через проміжні вузли.

Протокол DSFSR дає змогу отримати значення якості обслуговування до 48% краще для критерію максимального середнього часу доставки, до 31% – для критерію максимального відсотка втрат.

Дослідження впливу мережевого навантаження на якість обслуговування

У розглянутій мережі бітова швидкість передачі даних між пристроями становить 1024 Кбіт/с. З урахуванням того, що всі дані доставляються в єдиний центр обробки, а мережа складається зі 100 пристроїв, максимальна швидкість передачі для одного пристрою становить

$$V_{\max} = \frac{1024}{8 \cdot 100} = 1.28 \text{ кілобайт в секунду}$$

або 1311 байт в секунду. Однак через помилки колізій і накладних витрат на роботу протоколів така швидкість практично недосяжна і буде використовуватися тільки як міра оцінки верхньої межі швидкості передачі.

У процесі доставки пакета останній пройде через кілька вузлів: джерело – маршрутизатор 1 – маршрутизатор 2 – ... – маршрутизатор N – приймач. За кожного стрибка пакет буде займати канал двічі – під час прийому і під час передачі. Таким чином, за 100% завантаження мережі приймемо швидкість передачі 656 байт у секунду для кожного пристрою.

Дослідження проводилося для мережі з великою щільністю, тому що в такій мережі протоколи маршрутизації показують найбільш подібні значення якості, тобто мінімізовані інші фактори, що впливають на ефективність роботи мережі. Значення критеріїв якості обслуговування представлені в таблиці 3.

За збільшення частоти появи даних збільшується час доставки пакетів через каналний рівень пере-

дачі, оскільки середовище зайняте протягом більшого часу, а також зростає ймовірність колізій. Однак за зменшення частоти появи корисних даних ефективність роботи мережі може зменшитися, оскільки за рідкісної появи пакетів протоколу маршрутизації складніше обчислити метрики каналів. Це може виражатися в неправильному призначенні метрик для каналів, а також у їх частіших змінах. Протокол DSFSR інколи показує кращу ефективність, оскільки швидше реагує на зміну стану каналів.

Дослідження впливу розміру пакетів на якість обслуговування

У цьому експерименті перевірялася залежність якості обслуговування мережі від розміру пакетів із корисними даними. При цьому мережеве навантаження змінювалося від 5,3% до 80%. Результати представлені в таблиці 4.

Висновки. Реалізовано імітаційну модель бездротової сенсорної мережі на базі комп'ютерної системи моделювання DaSSF, за допомогою якої були отримані параметри якості передачі даних для мереж, що використовують протоколи FSR і DSFSR, залежно від таких факторів, як щільність мережі, розмір пакетів, мережеве навантаження.

Встановлено, що за збільшення розміру пакетів найбільший вплив на ефективність мають, як правило, не протоколи маршрутизації, а технологія доступу до середовища передачі. Однак у кожному разі використовуваний протокол маршрутизації впливає на якість роботи мережі, оскільки тільки від нього залежить кількість службового трафіку, а також обраний маршрут для доставки, який, своєю чергою, залежить від метрики каналу, яка визначається розміром переданих пакетів.

Деколи протокол DSFSR забезпечує кращу якість обслуговування, оскільки модифікований спосіб доставки маршрутної інформації дає змогу більш ефективно використовувати канали передачі. Проте можливі ситуації, коли такий алгоритм показує меншу ефективність, оскільки збільшує накладні витрати.

Список літератури:

1. Al-Karaki J., Kamal A. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey // IEEE wireless communications. 2004. Vol. 11, no. 6. – P. 6–28.
2. Akkaya K., Younis M. A survey of routing protocols in wireless sensor networks // Ad hoc networks. 2005. Vol. 3, no. 3. – P. 325–349.
3. Cao Q., Abdelzaher T. Scalable logical coordinates framework for routing in wireless sensor networks // ACM transactions on sensor networks. 2006. Vol. 2, no. 4. – P. 557–593.
4. GHT: a geographic hash table for data-centric storage / S. Ratnasamy [et al.] // Proceedings of the 1st ACM international workshop on wireless sensor networks and applications. Atlanta (USA), 2002. – P. 78–87.

**ВЫБОР ПРОТОКОЛА МАРШРУТИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ**

Предложена имитационная модель выбора протокола маршрутизации в беспроводной сенсорной сети, что дает возможность исследовать влияние плотности сети, сетевой нагрузки, размера пакетов на качество обслуживания.

Ключевые слова: маршрутизация, сеть, нагрузка.

**SELECTION OF ROUTING PROTOCOL USING
IMITATION MODELING OF WIRELESS SENSOR NETWORK**

Proposed simulation of routing protocol selection in a wireless sensor network, which enables the network to investigate the influence of density, network load, packets size on the quality of service.

Key words: routing, network, load.

УДК 628.35:556.115

Dychko A.O.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Opolinskyi I.O.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Minaieva Yu.Yu.

V.I. Vernadsky National Taurian University

Hrebeniuk T.V.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

TECHNOLOGY OF BIOMASS CHEMICAL DISINTEGRATION IN ANAEROBIC DIGESTION OF ORGANIC WASTE

The main methods for increasing the efficiency of anaerobic processing of organic waste are: improvement of methanetanks and additional equipment; changes in the composition of the substrate and its additives; additional stages of substrate treatment. The comparative analysis of the use of methane fermentation technologies for the mechanical, physical and chemical degradation of biomass is given. The application of chemical disintegration of biomass during anaerobic treatment of organic waste is substantiated. It is shown that biomass processing with hydrogen peroxide can be successfully used to increase the degree of organic waste recycling in biogas.

Key words: anaerobic treatment, organic waste, chemical disintegration, biomass, biogas.

Introduction. Nowadays, annually more than 50 billion tons of energy, industrial, agricultural and domestic waste fall into the atmosphere, water and soil, and more than 150 millions tons of which are from industrial enterprises [3, 4]. Total volume of solid waste in Ukraine is 10–11 millions tons per a year. 2600 hectares of land in the country are occupied by landfills. The average volume of solid waste is 1 ton per person per one year in cities. The annual amount of formed waste in 2014 in Ukraine is about 354 millions tons. Only 112 millions of them are recycled or disposed. And the rest is preserved in landfills [5].

There are very large reserves of using secondary resources in the country. This is the way to economical regime, that promotes the transition from extensive to intensive factors of economic growth and recovery of Ukraine.

The total amount of organic waste produced in Ukraine is given in Table 1.

Thus the potential of biogas receiving in the country is extremely high. It's known that one person produces 0.5–3 kg of household and industrial waste per a day that may be transformed into 0,00125–0,5 m³ of

biogas. Amount of received gas depends on waste type and recycling technologies [1].

The potential of bioenergy is 60% of all renewable energy sources in Ukraine. The most significant reserves of biomass in Ukraine are: straw, manure, secondary waste, wood [2, 6]. Organic waste recycling in biogas reactors would largely solve the energy problem in villages and farms in Ukraine [6].

Using anaerobic organic waste processing technology allows to dispose various kinds of manure (including bird droppings), to process plant remains (overwintered silage, foliage food crops, etc.) and to utilize organic waste of slaughterhouses and poultry, and products of wastewater treatment. Waste processing – is primarily a cost-effective system that increases the level of environmental security.

Modern technologies of bioenergy waste disposal under anaerobic conditions in digesters have some disadvantages: ineffective process of biotransformation of waste into biogas, low level of methane in biogas, long duration of fermentation, reducing the amount of received biogas while limiting the biogenic elements in substrate.

Table 1
Organic waste in Ukraine by types [6]

Branches of waste production	Mass of waste, million tons
Animal husbandry and poultry farming	46
Plant growing	32
Solid wastes	12
Sewage waste water	1,4
Wastes from woodworking, food processing etc.	8,6

Modern technologies of bioenergy waste disposal under anaerobic conditions in digesters have some disadvantages: ineffective process of biotransformation of waste into biogas, low level of methane in biogas, long duration of fermentation, reducing the amount of received biogas while limiting the biogenic elements in substrate.

So, there is a necessity in researching the methods of increasing of productivity of organic waste recycling, reducing fermentation time and increasing the received amount of biogas with increasing proportion of methane in it.

The aim of the work is to develop the method of intensification of organic waste anaerobic fermentation.

Materials and methods. Research methods:

– physical-chemical, chemical-analytical, hydrobiological, mathematical analysis, computer modeling and technical-ecological analysis of obtained results;

– use of methods of system analysis of innovative technologies of methane fermentation and also in order to improve the information support of waste digestion systems.

Statistical methods of research were used to assess the state of waste anaerobic fermentation process. The information base was provided by publications of Ukrainian and foreign scientists in the field of organic waste utilization.

Ways of intensification of biomass methane fermentation. The following directions of development of technologies of increasing productivity of organic waste recycling are defined on the base of review of modern research and publications:

1. Constructions of digesters and supplement equipment.

This category includes all methods of increasing the efficiency associated with changes in configurations of digesters or their components to ensure more complete and effective methane fermentation process.

2. Changes in composition of substrate and its additives.

They include such methods as: changing the composition of substrate by mixing of different types of organic matters for achieving synergy effect, bringing additives and supplements into substrate that directly affect on some elements of the methanogenesis cycle and thus increase efficiency of the process.

3. Additional steps of substrate processing.

This category includes methods in which the substrate is subject to pretreatment (physical, biological, etc.) before bringing in digester.

The main ways of intensification of technologies of bioenergy waste disposal are: increasing temperature of fermentation and rate of mixing of waste in digester, continuous loading and unloading, two- and many stepped fermentation, in which the second and next stages are used to separate excess water and reduce amount of biomass, and also technologies of mechanical, physical and chemical disintegration of biomass [2].

Quantitative biogas yield in anaerobic digestion in two different temperatures is established as approximately equal [7]. Period of biodegradation of organic substances is reduced in 2 times in thermophilic regime, however, it requires more energy expenditure (mixing, heating).

Increased rate of raw materials decomposition, high biogas yield and almost complete destruction of pathogenic bacteria, containing in raw materials, belong to advantages of thermophilic fermentation process. Disadvantages of thermophilic anaerobic process are: large amount of energy, required for heating material in reactor, fermentation process sensitivity to minimal changes in temperature, low quality of product (biogas) [8].

Methane fermentation under thermophilic conditions affects the rate of reactions occurring at stage of hydrolysis. Thereby, it raises concentration of volatile fatty acids, formed from active sludge, that leads to biogas production increase [7].

Significant reserves of biogas output intensification are use of different kinds of structural and technological methods of anaerobic digestion process intensification. Mixing in process of anaerobic digestion increases area of contact methane-generating bacteria with organic mass, that increases productivity of biogas plant [9].

The main objectives of mixing include: output of produced biogas; mixing fresh substrate and bacteria populations; prevention the formation of crust and sediment; prevention the formation of areas of different temperatures inside reactor; providing steady distribution of population of bacteria; prevention

the formation of cavities and clusters, which reduce effective area of reactor.

In selecting the appropriate method of mixing it should be taken into account that process of digestion is a symbiosis between different strains of bacteria, i.e. bacteria of one type can feed another type. When the community is broken, fermentation process is unproductive by the time of bacteria new community formation, so too frequent or prolonged and intense mixing is adversely. It is recommended to mix raw slowly every 4–6 hours.

Mixing in bioreactor has also some disadvantages: high energy intensity; significant abrasion of equipment; complexity of repair; reducing efficiency due to silting possibility and presence of fibrous materials; insufficient destruction of floating peel under certain conditions; insufficient hermetization of apparatus because of presence of node shaft seal of mixer and, consequently, increased explosiveness [8].

All sorts of damage of intermolecular chemical bonds between the structural elements are the basis of chemical disintegration method for biomass. Neutral salts, organic compounds and other substances are used as reagents in this method [10].

The chemical disintegration of organic waste.

The results [11], obtained after chemical pretreatment, show that using H₂O₂ under alkaline conditions leads to decomposition of the three main structures: lignin, hemicellulose and cellulose. The impact of temperature, reaction time and concentration of H₂O₂ on the biomass degradation efficiency and the further methanogenesis was also studied.

The best results were achieved when the process was carried out at 25 °C for 24 hours using a 5% solution of H₂O₂. Although the level of degradation

was very high for all three plant sources, biogas production from energy crops that have been previously chemically processed, was heavily hampered by impurity products and residual oxygen formed after decomposition of H₂O₂.

It points to the fact that the alkaline pretreatment with H₂O₂ is a very perspective method of plant material degradation for biogas production, but the pretreated biomass should be separated from the supernatant before the fermentation process because of the high concentration of inhibitors and hydrolysates. The best results were obtained for *Sida hermaphrodita*: production of biogas and methane was 2,29 dm³ and 1,06 dm³ respectively.

Previous chemical processing with using a range of different chemicals, especially acids and alkalis of different strengths, under different conditions was investigated [12].

As it is known, at present chemical preprocessing for biogas production is not carried out on a large scale, despite the fact that it is widely used for ethanol production. Oxidative preprocessing that use hydrogen peroxide or ozone affects the lignocellulose similarly to alkaline processing. Preprocessing like this can also destroy lignin.

Among the examples of using and exploration of this technology – is processing of substrate by wastes from olive production [13]. Olive pulp contains large amount of phytotoxic compounds and is poorly biodegradable, so it is advisable to carry out preliminary processing with an all substrate mass oxidation. Processing with hydrogen peroxide under alkaline conditions reduces the concentration of harmful polyphenols 72%, reduces content of carbon dioxide in biogas at about 77% and increases the yield of methane.

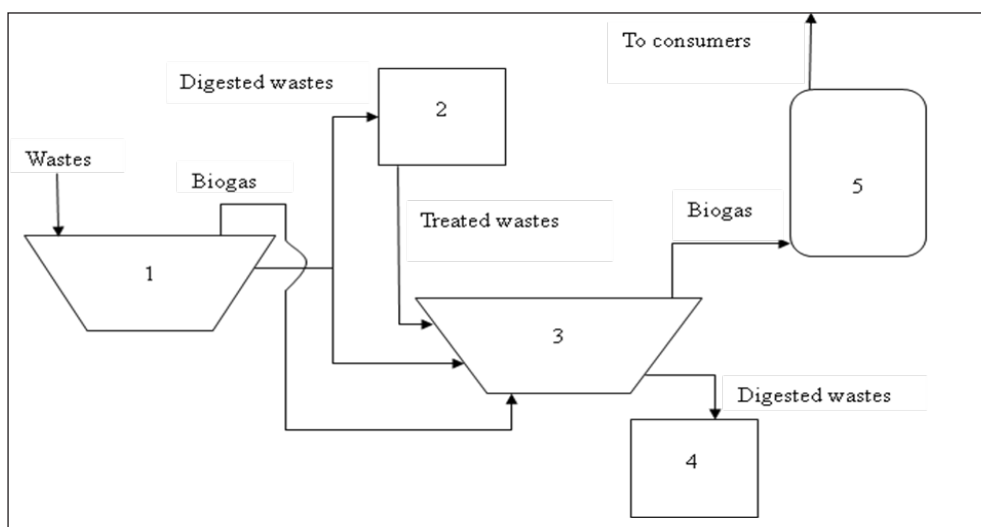


Fig. 1. Scheme of chemical disintegration of organic waste by hydrogen peroxide

Combined pretreatment of waste sludge by free nitric acid and hydrogen peroxide increases methane production by decomposition of organic molecules. It represents a new strategy of preprocessing with combined use of free nitric acid (FNA i.e. HNO_2) and hydrogen peroxide (H_2O_2) to increase methane production from activated sludge with studying of biomolecular mechanisms [14]. The structure of the molecular-weight distribution and the results of chemical analysis revealed the disintegration of soluble macromolecules through the combined preprocessing caused by the oxidation of typical functional groups to proteins, polysaccharides and phosphodiaphers. These changes improved the biodegradation of sludge.

We have developed a method of intensification of organic waste two-stage anaerobic fermentation process with hydrogen peroxide using (fig. 1).

The method is carried out as follows:

Organic wastes come into the first digester (1) for the first stage of fermentation, and then some of biomass comes into the node of activation (2), where it is disintegrated by hydrogen peroxide, and the rest is put to the second digester (3). After the second stage of fermentation, fermented biomass comes into precipitate receiver (4) for storage and recycling, and biogas comes in gasholder (5) for collecting and then to cogeneration plant.

As a result of experimental research when applying this method in a two-stage periodic process of organic waste anaerobic digestion at a temperature of $45 \pm 50^\circ\text{C}$ with concentration of organic waste – 19 g per l on dry substances, biogas yield increased in four times compared with the value of control. The heating value of biogas was 20–25 MJ/m³.

The method increases the degree of organic waste processing and biogas yield. This method is an universal because it can be used to intensify the anaerobic digestion of any organic waste digestion in different modes, allows to increase biogas yield due to more complete organic waste conversion into biogas. It significantly increases energy efficiency and environmental safety of the process [15, 16].

Conclusions. The use of biomass disintegration before its methane digestion is a perspective direction of new technologies for organic waste processing and recycling.

According to experiments using chemical methods of process intensification improves the intensity of biogas production. These methods have high efficiency and enough low cost.

The result of using chemical disintegration method is the increasing of organic waste processing degree and biogas yield. Fermented biomass can be used as organic fertilizer.

References:

1. Efimov N.N., Fedorova N.V., Mirgorodsky A.I., Kolomytseva A.M. Gasification of organic fuels and biomass. Successes of modern natural science. 2007; 1:15–21.
2. Vorobiev V., Dychko A., Opolinskyi I. Improving the efficiency of biotransformation of hazardous pollutants in wastewater biogas. Proceedings of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Series "Mining". 2016; 30:153–159.
3. Биогазовая установка на биоотходах [Электронный ресурс] URL: http://transgaz-holding.ru/biogazovaya_ustanovka_na (Date of access: 10.05.17).
4. Vasyukova G.T., Yarosheva O.I. (2009) Ekologiya. Kyiv. Kondor, p. 524.
5. Statystychnyj shhorichnyk Ukrayiny za 2014 rik (2015). Derzhavna sluzhba statystyky Ukrayiny. URL: https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm (Date of access: 10.05.17).
6. Ratushnyak G.S., Dzhedzhula V.V. and Anoxina K.V. (2010) Energozberigayuchi vidnovlyvalni dzherela teplopostachannya. Vinnytsya: VNTU, p. 170.
7. Iwona Zawieja. Efektywność generowania lotnych kwasów tlenowych podczas mezofilowej i termofilowej fermentacji metanowej osadów nadmiernych / Iwona Zawieja, Lidia Wolny, Marta Pryba. – 2016. – № 48. – С. 226–232.
8. Trakhunova I. A. (2001) Повышение эффективности анаэробной переработки органических отходов в метантенке с гидравлическим перемешиванием на основе численного эксперимента dis. kand. tekhn. Nauk. Kazan. p. 137.
9. Шакиров Л.В. Влияние основных рабочих параметров процесса анаэробного сбраживания на количественный выход биогаза / Л.В. Шакиров, С.М. Найман, Р.Р. Шарипов. // Кузбасский национальный технический университет. – 2015.
10. Шапхаев Э.Г. Основы биотехнологии / Э.Г. Шапхаев, В.Ж. Цыренко, Е.И. Чебурина. – Улан-Удэ: ВСГТУ, 2005. – 96 с.
11. Michalsk K. Alkaline hydrogen peroxide pretreatment of energy crops for biogas production / K. Michalsk, S. Ledakowicz. // Chemical Papers. – 2014. – № 68. – С. 913–922.

12. Montgomery L. 5.3 Oxidative pretreatment / L. Montgomery, G. Bochmann // Pretreatment of feedstock for enhanced biogas production, 2014. – С. 10.

13. Siciliano A. Biogas production from wet olive mill wastes pretreated with hydrogen peroxide in alkaline conditions / A. Siciliano, M. Stillitano, S. De Rosa. // Renewable Energy. – 2015. – № 85. – С. 903–916.

14. Combined free nitrous acid and hydrogen peroxide pre-treatment of waste activated sludge enhances methane production via organic molecule breakdown / Tingting Zhang, Qilin Wang, Liu Ye та ін.]. // Scientific Reports. – 2015. – № 5.

15. Dychko A., Opolinskyi I. (2016) Patent 108800 UA. Спосіб інтенсифікації процесу двостадійного анаеробного зброджування органічних відходів. № 14. – 2 с.

16. Dychko A, Opolinskyi I, Yevtieieva L. The intensification of the process of transformation of biomass into bioenergy biogas. Managing the development of complex systems. 2015; 22 (1):193–198.

ТЕХНОЛОГІЯ ХІМІЧНОЇ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ БІОМАСИ ПІД ЧАС АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

Основними методами підвищення ефективності анаеробної переробки органічних відходів є удосконалення метантенків та додаткового обладнання; зміна складу субстрату та добавок до нього; додаткові етапи обробки субстрату. Наведено порівняльний аналіз використання під час метанового бродиння технологій механічного, фізичного та хімічного розпаду біомаси. Обґрунтовано застосування хімічної дезінтеграції біомаси під час анаеробної обробки органічних відходів. Показано, що обробка біомаси перекисом водню може бути успішно використана для підвищення ступеня переробки органічних відходів у біогаз.

Ключові слова: анаеробна обробка, органічні відходи, хімічна дезінтеграція, біомаса, біогаз.

ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ БИОМАССЫ ПРИ АНАЭРОБНОМ СБРАЖИВАНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Основными методами повышения эффективности анаэробной переработки органических отходов являются совершенствование метантенков и дополнительного оборудования; изменение состава субстрата и добавок к нему; дополнительные этапы обработки субстрата. Приведен сравнительный анализ использования при метановом брожении технологий механического, физического и химического распада биомассы. Обосновано применение химической дезинтеграции биомассы при анаэробной обработке органических отходов. Показано, что обработка биомассы перекисью водорода может быть успешно использована для повышения степени переработки органических отходов в биогаз.

Ключевые слова: анаэробная обработка, органические отходы, химическая дезинтеграция, биомасса, биогаз.

УДК 693.546.5

Еремеев И.С.

Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского

Ещенко А.И.Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ В ЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Рассмотрен путь постепенного оснащения многоквартирного дома дополнительным оборудованием с целью минимизации его энергопотребления. Приведена примерная схема альтернативного энергоснабжения дома и некоторые эвристики, определяющие основные режимы его работы. Дана экологическая оценка предлагаемым техническим решениям.

Ключевые слова: энергоэффективность, альтернативные источники энергии, утилизация, геосистемы, эвристики, автоматизированный теплопункт.

Постановка проблемы. Системы теплоснабжения жилых домов, к сожалению, характеризуются низкой эффективностью, что обусловлено рядом объективных и субъективных факторов: потерями в теплотрассах (при использовании систем центрального отопления), плохой теплоизоляцией зданий, использованием в качестве энергоносителей ископаемого топлива, которое, к тому же, при сгорании вносит свою существенную лепту в ухудшение экологической обстановки в городах, низкой эффективностью теплогенерирующего оборудования.

Анализ последних исследований. В связи со сказанным в настоящее время все больше исследований посвящается созданию энергоэффективного оборудования, оптимизации процессов теплогенерации, использованию нетрадиционных видов энергоносителей и преобразователей и автоматизации всех процессов, обеспечивающих кондиционирование среды в жилых помещениях. Эти разработки в основном затронули проблему теплообеспечения отдельных особняков, где проблема установки дорогостоящего эффективного оборудования могла быть возложена на плечи владельцев таких домов, причем от проблемы теплоснабжения постепенно стали переходить к созданию «умных» домов, на автоматику которых возлагались и проблемы контроля безопасности, несанкционированного вторжения в помещение и т. д. На постсоветском пространстве этому также уделяют большое внимание, однако в первую оче-

редь речь идет о проблемах, связанных с энергоэффективностью самих систем теплоэнергетики [1, 2], хотя и предпринимаются усилия для создания «умных» домов [3].

Цели статьи – рассмотрение возможности решения проблемы создания многоквартирных энергоэффективных домов (МЭЭД) путем поэтапного оснащения зданий дополнительной аппаратурой и системами управления, создания домов, обеспечивающих свою жизнедеятельность в значительной части за счет альтернативных источников энергии и специальной конструкции.

Основной материал статьи. Предлагается перманентный подход, заключающийся в постепенном дооборудовании дома, когда средства, сэкономленные за счет внедрения отдельных компонентов МЭЭД, могут быть направлены на дальнейшее повышение эффективности. Первый шаг в создании МЭЭД возможен там, где дом оборудован домовой котельной (котельная может обеспечивать и несколько домов). В этом случае в котельной необходимо оборудовать пиролизный реактор, который бы утилизировал энергию твердых бытовых отходов (ТБО), ежедневно выбрасываемых населением и содержащих от 50% до 75% органики. В процессе пиролиза она превращается в горючий газ, который можно подавать в топку котла вместо природного газа. Это не только приводит к экономии газа (и снижению стоимости отопления), но и минимизирует загрязнение среды, причем

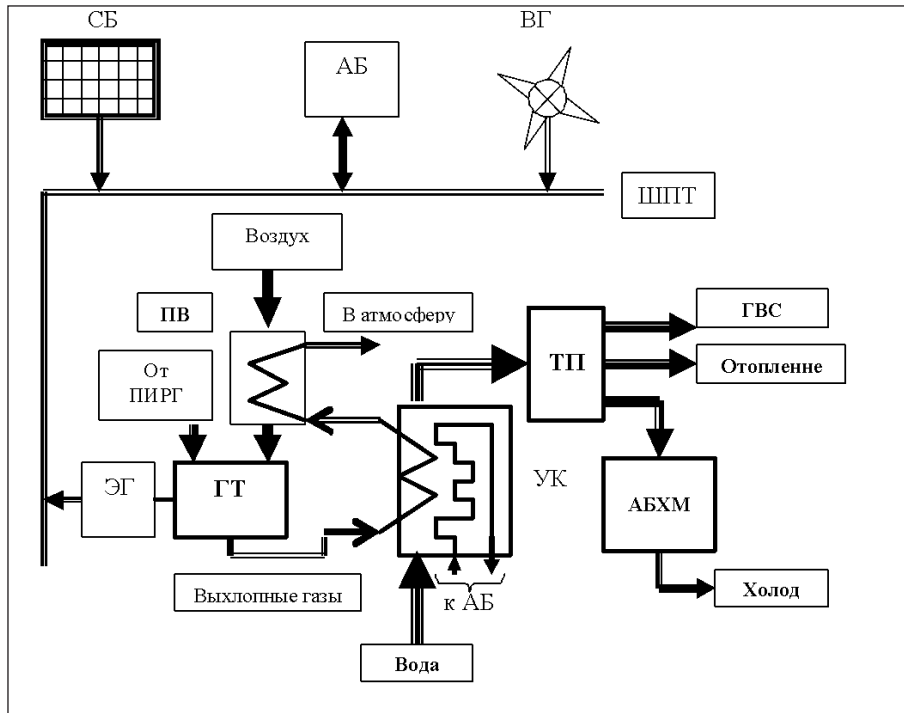


Рис. 1. Примерная схема альтернативного энергоснабжения МЭЭД

ПВ – подогреватель воздуха; ТП – тепловпункт; ГВС – горячее водоснабжение; ГТ – газовая турбина; УК – утилизацiонный котел; АБХМ – абсорбционная холодильная машина; ЭГ – электрогенератор; СБ – солнечная батарея; АБ – аккумуляторная батарея; ВГ – ветрогенератор.

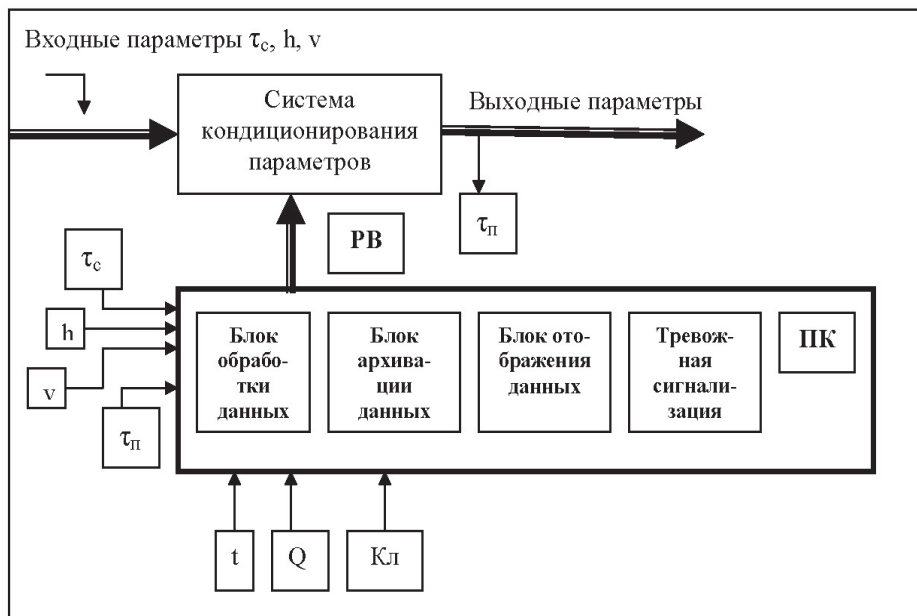


Рис. 2. Принципиальная схема блока управления тепловым пунктом

Программируемый контроллер (ПК), настроенный на отслеживание температуры (τ_c), влажности (h) и скорости ветра (v) снаружи здания и температуры ($\tau_{п}$) в отопляемом помещении (с учетом времени суток t и календаря Кл), а также текущих тепловых потерь Q , с соответствующим генерированием регулирующих воздействий РВ.

включение котла на использование пиролизных газов должно быть исходным: только если температура воды в системе отопления упадет ниже заданного значения, должна подключиться подача природного газа. Когда нет необходимости в отоплении, пиролизный газ может подаваться на вход газовой турбины, вращающей электрогенератор, устанавливаемый на втором этапе. От генератора можно питать аккумуляторную батарею, обеспечивающую снабжение внутренних потребителей электроэнергии (например, электролизера для электролиза воды с целью получения водорода для питания котла) и накопление энергии, когда она не нужна. Следующий этап – установка на крыше здания гелиоколлекторов для подогрева воды и зарядки теплового аккумулятора. Наконец, гелиосистемы могут быть дополнены ветрогенератором, устанавливаемым на крыше. Кроме того, тепло выхлопных газов газовой турбины может использоваться в утилизационном котле для нагревания воды (котел может также подогреваться электронагревателем, питающимся от батареи), а затем – в теплообменнике для нагревания воздуха, питающего турбину или поступающего в обогреваемые помещения. Подобная схема (см. рис.1) может обеспечить в принципе полный отказ от природного газа как источника энергии, что не только даст существенную экономию, но и будет способствовать улучшению экологических показателей города в целом. Однако такой ЭЭМД будет нормально функционировать только в случае четкой работы системы автоматики, которая должна работать в соответствии с такими эвристиками.

ЕСЛИ ($t_{\text{ГВВ}} < t_{31}$) **И** ($O_{\text{T}}=1$) **И** ($\text{Пир}=0$), **ТО** ($\text{ПрГ} \rightarrow 1$), **ИНАЧЕ** ($\text{Пир} \rightarrow 1$),

ЕСЛИ ($t_{\text{ГВВ}} < t_{32}$) **И** ($O_{\text{T}}=0$) **И** ($\text{Пир}=0$) **И** ($U_{\text{АБ}} > U_{\text{АБmin}}$), **ТО** ($(\text{УК} + \text{АБ}) \rightarrow 1$), **ИНАЧЕ** ($\text{Пир} \rightarrow 1$) **И** ($\text{ЭГ} \rightarrow 1$),

ЕСЛИ ($U_{\text{ШПТ}} < U_{\text{АБmin}}$) **И** ($t_{\text{ГВВ}} < t_{31}$) **ИЛИ** ($t_{\text{ГВВ}} < t_{32}$), **ТО** ($(\text{УК} + \text{АБ}) \rightarrow 1$),

где $t_{\text{ГВВ}}$ – температура горячей воды в системе отопления; t_{31} – минимально допустимое значение $t_{\text{ГВВ}}$; $O_{\text{T}} = 1$ – отопление включено; $\text{Пир} = 0$ – пиролизный генератор отключен; ($\text{ПрГ} \rightarrow 1$) – подача природного газа; ($\text{Пир} \rightarrow 1$) – включение

пиролизатора; $t_{\text{ГВВ}}$ – температура горячей воды в системе ГВС; $O_{\text{T}} = 0$ – отопление отключено; $U_{\text{АБ}} > U_{\text{АБmin}}$ – напряжение на клеммах АБ превышает минимально допустимое; ($(\text{УК} + \text{АБ}) \rightarrow 1$) – подключить УК к АБ; ($\text{Пир} \rightarrow 1$) и ($\text{ЭГ} \rightarrow 1$) – включить соответственно пиролизный и электрогенератор; ШПТ – шина постоянного тока; ($U_{\text{ШПТ}} < U_{\text{АБmin}}$) – условие включения УК к ШПТ, если напряжение на зажимах последней ниже минимального напряжения, необходимого для зарядки АБ.

Для обеспечения еще большей эффективности МЭЭД контроллер ТП должен предусматривать возможность корректировки температуры в отапливаемых помещениях как путем учета динамики температуры в окружающей среде (реакция на приращение или спад температуры, а также на изменения влажности и силы ветра), так и исходя из согласованных с жильцами дома графиками изменения температуры в отапливаемых помещениях, учитывающими время суток. Примерная схема узла управления тепловым пунктом приведена на рис. 2.

Оборудованные на таких принципах дома позволят существенно сократить их влияние на окружающую среду своего района или города.

За основу предварительных расчетов были взяты результаты энергоаудита 9-этажного дома (97 квартир) в Киеве с данными за 2014 год. Годовые затраты тепловой энергии составили 744,52 Гкал, электрической энергии – 11093 кВт*час. Эта нагрузка (тепловая и электрическая) при реализации предлагаемых технических решений может быть обеспечена полностью или частично в разной пропорции (в зависимости от типа и мощности альтернативного источника энергии и среднегодовых погодных условий в районе расположения здания) между несколькими альтернативными энергоисточниками. Экологическая оценка: устранение выбросов только CO_2 при сжигании угольного топлива даст величину 395,62 т/год.

Выводы. Резюмируя, следует подчеркнуть, что именно энергоэффективность как результат использования новейших энергосберегающих решений в части тепло- и электрогенерации приводит к значительному снижению потребляемых энергоресурсов и загрязнения окружающей среды.

Список литературы:

1. Праховник А.В. Энергобережения – інший погляд. ЭСКО «Экологические системы». 2006, № 2.
2. Жубанов И.К. Разработка программы энергосбережения на краткосрочный и долгосрочный периоды. АҚМУ ХАБАРШЫСЫ, техника ғылымдары сериясы, 2011 № 1(46).
3. Габриэль И., Ладенер Х. Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома. – Санкт-Петербург, «БХВ-Петербург», 2011. – 470 с.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІСТЬ В ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Розглянуто шлях поступового оснащення багатоквартирного будинку додатковим обладнанням з метою мінімізації його енергоспоживання. Наведена віртуальна схема альтернативного енергозабезпечення будинку і деякі евристики, що визначають головні режими його роботи. Наведена екологічна оцінка технічних рішень, що пропонуються.

Ключові слова: енергоефективність, альтернативні джерела енергії, утилізація, геліосистеми, евристики, автоматизований тепловий пункт.

ENERGOEFFICIENCY AND ECOLOGICAL COMPATIBILITY OF APARTMENT HOUSES

The way of apartment houses gradual equipping by supplementary equipment for power consumption minimization is considered. The virtual diagram of apartment house alternative energy supply and some heuristics which described the main tool usage parameters are outlined. The ecological estimation of proposed technical solution is reduced.

Key words: energoefficiency, alternative power supply, utilization, heliosystems, heuristics, automatic thermotaxic station.

УДК 621.396

Жук О.В.

Інститут телекомунікацій та інформатизації

Романюк А.В.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Байдур О.В.**

Інститут телекомунікацій та інформатизації

ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТУ СТОХАСТИЧНОГО РЕЗОНАНСУ ПІД ЧАС ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Розглянуто основні теоретичні підходи до передачі інформації моніторингу безпроводними сенсорними мережами в умовах радіоперешкод за допомогою слабого сигналу підпорогового рівня з використанням ефекту стохастичного резонансу.

Ключові слова: безпроводні сенсорні мережі, стохастичний резонанс, модель лінійного відклику.

Постановка проблеми. Безпроводні сенсорні мережі (БСМ) або Wireless Sensor Network (WSN) – розподілені мережі, що складаються з маленьких сенсорних вузлів, з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища, обробки і передачі даних [1].

Одним із основних завдань оперативного управління БСМ є процес моніторингу навколишнього середовища та передача отриманої інформації до базових станцій [2]. Здатність БСМ ефективно обмінюватися інформацією істотно залежить від наявності незашумленого каналу радіозв'язку. В умовах, коли рівень радіоперешкод є досить значним, забезпечити зв'язок із конкретним вузлом мережі не завжди можливо.

Постановка завдання. Одним із способів передавання інформації в умовах високого рівня шуму могло би стати застосування нового класу приймачів-передавачів з використанням ефекту стохастичного резонансу (СР). Ефект СР дає змогу використовувати слабкі сигнали підпорогового рівня для зміну стану нелінійної системи в умовах наявності шуму високої інтенсивності. На цей час пристрої, засновані на ефекті СР, вже активно використовуються у схемах підсилення та детектування сигналу, але ці рішення не здатні повністю вирішити завдання передачі сигналів в умовах, коли потужність передавача значно менша за потужність зовнішнього шуму [3].

Тому актуальною є науково-прикладна задача дослідження процесів впливу підпорогових сигналів в умовах значного рівня шуму на нелінійні системи з ефектом стохастичного резонансу та створення нового класу приймачів-передавачів з використанням цього ефекту.

Виклад основного матеріалу.

Математичні моделі дослідження ефекту стохастичного резонансу. Сьогодні для дослідження ефекту СР найчастіше використовують математичну модель руху броунівської частки (зі значним тертям) у двохмному потенціалі

$$U(x) = -\frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4},$$

під дією білого шуму та періодичної сили $f(t) = A \cos(\Omega t + \phi)$ [4]. Рівняння руху цієї броунівської частки в безрозмірних змінних матиме вигляд:

$$\dot{x} = x - x^3 + A \cos(\Omega t + \phi) + \sqrt{2D} \cdot \xi(t),$$

де $\xi(t)$ – білий шум, D – інтенсивність білого шуму, A – амплітуда періодичної сили, Ω – частота періодичної сили, ϕ – фазовий зсув.

На базі цієї математичної моделі було створено декілька основних теорій, таких як теорія відгуку на слабкі сигнали, теорія двох станів, теорія лінійного відгуку [3].

Розглянемо ефективність використання математичних моделей у межах цих теорій з позиції їх придатності для дослідження поставленої науково-прикладної задачі.

Теорія відгуку на слабкий сигнал. У межах цієї теорії для періодично збуджуваного броунівського руху в цій теорії отриманий такий результат для асимптотичного середнього відгуку $\langle x(t) \rangle$:

$$\langle x(t) \rangle = \sum M_n e^{in(\Omega t + \phi)},$$

де $\langle x(t) \rangle$ – асимптотичний середній відгук, M_n – комплексні амплітуди, що залежать від інтенсивності шуму, Ω – частота сигналу, A – амплітуда сигналу, ϕ – фазовий зсув сигналу [4].

Коефіцієнт підсилення потужності η на основній частоті визначається як [4]:

$$\eta = \left(\frac{2|M_1|}{A} \right)^2,$$

де η – коефіцієнт підсилення потужності, M_1 – комплексна амплітуда відгуку на основній частоті, A – амплітуда сигналу.

Аналітичні вирази цієї теорії отримані за допомогою низки наближень, головне з яких – наближення малого сигналу, таким чином, що функцію відгуку можна вважати лінійною, що значно обмежує застосування теорії відгуку на слабкий сигнал у завданні дослідження процесів впливу підпорогових сигналів в умовах значного рівня шуму на нелінійні системи.

Теорія двох станів. У межах цієї теорії розглядають бістабільну систему, змінна стану якої може приймати всього два значення $x(t) = \pm x_m$, позначаючи через $n_{\pm}(t)$ відповідні ймовірності станів з урахуванням умови нормування. Щільність імовірності станів відповідно позначимо \dot{n}_{\pm} . Отримане керівне рівняння:

$$\dot{n}_{\pm} = -[W_{\pm}(t) + W_{\mp}(t)]n_{\pm} + W_{\pm}(t),$$

де $n_{\pm}(t)$ – ймовірність одного зі станів, $[W_{\pm}(t) + W_{\mp}(t)]$ – відповідні щільності ймовірностей.

Пропонується, що закони зміни $W_{\mp}(t)$ мають такий вигляд:

$$W_{\pm}(t) = r_k e^{\pm \frac{Ax_m \cos \Omega t}{D}},$$

де r_k – швидкість Крамерса, x_m – значення змінної стану, D – інтенсивність білого шуму, A – амплітуда періодичної сили, Ω – частота періодичної сили.

Середня швидкість виходу з метастабільного стану – швидкість Крамерса r_k – в цій теорії визначається як:

$$r_k = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{4D}},$$

де r_k – швидкість Крамерса, D – інтенсивність білого шуму.

В умовах асимптотичної границі

$$\langle x(t) \rangle = \lim_{t_0 \rightarrow -\infty} \langle x(t) | x_0, t_0 \rangle$$

відгук системи $\langle x(t) \rangle$:

$$\langle x(t) \rangle = A_1(D) \cos[\Omega t + \psi(D)],$$

де $\langle x(t) \rangle$ – асимптотичний середній відгук, $A_1 D$ – амплітуда відгуку, що залежить від інтен-

сивності шуму, Ω – частота сигналу, ψD – фазовий зсув відгуку, що залежить від інтенсивності шуму.

Отриманий коефіцієнт підсилення потужності η визначається як:

$$\eta = \frac{4r_k^2 x_m^4}{D^2 (4r_k^2 + \Omega^2)},$$

де η – коефіцієнт підсилення потужності, r_k – швидкість Крамерса, x_m – значення змінної стану, D – інтенсивність білого шуму, Ω – частота періодичної сили.

Ця теорія обмежена своїм початковий припущенням, що система має всього два значення змінної стану. Системи передачі даних у реальних умовах значно складніші, і застосувати цю теорію для них неможливо.

Теорія лінійного відгуку. У цій теорії відгук нелінійної стохастичної системи $\langle x(t) \rangle$ на слабкий зовнішній вплив у границі з великими проміжками часу задається інтегральним співвідношенням [4]:

$$\langle x(t) \rangle = \langle x \rangle_{st} + \int_{-\infty}^t \chi(t-\tau, D) f(\tau) d\tau,$$

де $\langle x \rangle_{st}$ – середнє значення незбудженої змінної стану системи, а $f(t)$ – зовнішня збуджуюча сила, $x(t, D)$ – функція відгуку системи. Для симетричних відносно початку координат можна припустити $\langle x(t) \rangle = 0$.

В умовах дії гармонічної сили відгук системи стає вираженням через сприйнятливність системи $\chi(\Omega)$, котра є Фур'є-образом функції відгуку:

$$\langle x(t) \rangle = A |\chi(\omega)| \cos(\Omega t + \psi),$$

де $\langle x(t) \rangle$ – асимптотичний середній відгук, A – амплітуда відгуку, Ω – частота сигналу, ψ – фазовий зсув відгуку, $\chi(\Omega)$ – сприйнятливність системи.

Фазовий зсув визначений виразом

$$\psi = -\arctan \frac{\text{Im } \chi(\Omega)}{\text{Re } \chi(\Omega)},$$

де ψ – фазовий зсув відгуку, $\chi(\Omega)$ – сприйнятливність системи на частоті сигналу.

Швидкість Крамерса r_k в цій теорії визначається так само, як і у в теорії двох станів (7):

$$r_k = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{4D}},$$

де r_k – швидкість Крамерса, D – інтенсивність білого шуму.

Отриманий коефіцієнт підсилення потужності η визначається як:

$$\eta = |\chi(\omega)|^2,$$

де η – коефіцієнт підсилення потужності, $\chi(\omega)$ – сприйнятливність системи.

Головним наслідком цієї теорії став висновок, що за досить низькочастотних сигналів максимум відношення сигнал/шум досягається при $D \approx \frac{1}{8}$,

однак зі збільшенням частоти ефект стохастичного резонансу взагалі пропадає [4].

У розглянутих теоріях як зовнішня сила розглядається вплив гармонійного сигналу малої амплітуди. Але виникає потреба у межах поставленого завдання розглянути відгук системи на багаточастотні і шумові сигнали. Теорія лінійного відгуку може бути поширена на ситуацію сигналів зі складним спектральним складом [5]. Спектральна щільність на виході матиме вигляд:

$$G_{xx}(\omega) \approx G_{xx}^{(0)}(0) + |\chi(\omega)|^2 G_{ff}(\omega),$$

де $G(\omega)$ – спектральна щільність на виході, $\chi(\omega)$ – сприйнятливості системи.

Розглянемо слабкий сигнал, що дає дискретний спектр, зовнішню силу $f(t)$ представимо у вигляді ряду Фур'є:

$$f(t) = A \sum_{k=1}^M c_k \cos \Omega_k t,$$

де $A c_k$ – амплітуди гармонік сигналу, Ω_k – частоти гармонік сигналу.

Згідно з теорією лінійного відгуку відгук системи буде:

$$\langle x(t) \rangle = A \sum_{k=1}^M c_k |\chi(\Omega_k, D)| \cos[(\Omega_k + \psi_k)t]. \quad (1)$$

де $A c_k$ – амплітуди гармонік сигналу, Ω_k – частоти гармонік сигналу, ψ_k – фазові зсуви гармонік, $\chi(\Omega_k, D)$ – сприйнятливості системи на частоті гармоніки, D – інтенсивність білого шуму.

У формулі (1) фазові зсуви ψ_k для кожної з гармонік визначаються співвідношеннями:

$$\psi_k(\Omega_k, D) = -\arctan \frac{\text{Im } \chi(\Omega_k, D)}{\text{Re } \chi(\Omega_k, D)},$$

де ψ_k – фазові зсуви гармонік, $\chi(\Omega_k, D)$ – сприйнятливості системи на частоті гармоніки, Ω_k – частота гармоніки сигналу, D – інтенсивність білого шуму.

Отриманий коефіцієнт підсилення потужності η визначається як:

$$\eta(\Omega_k, D) = |\chi(\Omega_k, D)|^2,$$

де $\eta(\Omega_k, D)$ – коефіцієнт підсилення потужності на частоті гармоніки, $|\chi(\Omega_k, D)|$ – сприйнятливості системи на частоті гармоніки, Ω_k – частоти гармоніки сигналу, D – інтенсивність білого шуму.

Теорія лінійного відгуку з її розширенням у разі сигналів зі складним спектральним складом добре підходить для побудови математичної моделі задачі передавання сигналів підпорогового рівня з високим рівнем шуму. На базі цієї моделі можна провести чисельний експеримент і натурні досліди з метою перевірки можливості створення пристроїв приймання і передавання інформаційних радіосигналів в умовах наявності значного рівня шуму.

Висновки. Поставлена науково-прикладна задача дослідження процесів впливу підпорогових сигналів в умовах значного рівня шуму на нелінійні системи з ефектом стохастичного резонансу. Проведений аналіз основних теорій, що описують явище стохастичного резонансу у двоямному потенціалі, з позиції їх застосування під час моделювання в умовах поставленої задачі. Обрана модель розширена у разі сигналів складного спектрального складу теорії лінійного відгуку для проведення подальших чисельних і натурних експериментів. Вирішення цієї задачі дасть змогу створити принципово новий тип приймачів-передавачів для передачі інформації в БСМ в умовах впливу навмисних завад.

Список літератури:

1. Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я. Методологічні основи управління перспективними неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами тактичної ланки управління військами // Тези доповідей та виступів учасників ІХ науково-практичної конференції «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення». – Київ. – 2016. – С. 34–44.
2. Романюк В.А., Жук О.В., Сова О.Я. Система управління тактичними сенсорними мережами. Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ «КПІ». – Київ. – 2008. № 2. – С. 88–97.
3. Анищенко В.С., Нейман А.Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайнер Л. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка. Успехи физических наук // Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН. Москва. 1999. – № 1. – С. 7–37.
4. Маляев В.С., Владивасова Т.Е., Анищенко В.С. Стохастический резонанс, стохастическая синхронизация и индуцированный шумом хаос в Осциляторе // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2007. Саратов. – № 5. – С. 74–82.
5. Moss F. Noise in Nonlinear Dynamical System Vol. 1 Theory of Continuous Fokker – Planck Systems Cambridge: Cambridge University Press. 1989. – 384 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА СТОХАСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА
ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ**

Рассмотрены основные теоретические подходы к передаче информации мониторинга беспроводными сенсорными сетями в условиях радиопомех с помощью слабого сигнала подпорогового уровня с использованием эффекта стохастического резонанса.

Ключевые слова: *беспроводные сенсорные сети, стохастический резонанс, модель линейного отклика.*

**USE OF THE STOCHASTIC RESONANCE EFFECT
IN TRANSMISSION OF INFORMATION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS**

The basic theoretical approaches to the transmission of information monitoring by wireless sensor networks in the conditions of radio interference with the help of a weak signal at the subthreshold level using the effect of stochastic resonance are considered.

Key words: *wireless sensor networks, stochastic resonance, linear response model.*

УДК 621.396.4

Лысенко А.И.Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»**Алексеева И.В.**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»**Тачнина Е.Н.**

Национальный авиационный университет

АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОДСКАЗЧИКА ДЛЯ ОПЕРАТОРА, УПРАВЛЯЮЩЕГО ГРУППОЙ БПЛА

В статье предложен алгоритм «интеллектуального подсказчика», позволяющий задавать маневры беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оценивать координаты текущего положения БПЛА относительно заданной траектории, идентифицировать оптимальные моменты времени выполнения групповых маневров. Синтезированный алгоритм вырабатывает оптимальное, с учетом заданного критерия качества, управление движением метки текущего положения к заданному положению и рассчитывает оптимальный момент времени и фазовую координату разделения группы БПЛА.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, интеллектуальный подсказчик, оптимальное управление, ветвящаяся траектория.

Постановка проблемы. В настоящее время беспилотные летательные аппараты широко используются для управления в кризисных ситуациях и получения оперативной информации в зоне чрезвычайной ситуации.

При проведении спасательных операций беспилотные летательные аппараты являются наиболее достоверным и безопасным источником информирования наземных групп. БПЛА проводят оперативную разведку и детальное обследование местности, что позволяет своевременно оценивать обстановку и принимать управленческие решения по координации действий аварийно-спасательных отрядов.

Для решения такого рода задач перспективным является групповое применение беспилотных летательных аппаратов. Преимущество применения группы БПЛА становится очевидным в задачах, в которых возможно распараллеливание сложной задачи на несколько аппаратов – например, при проведении мониторинга обширных территорий за короткое время; в задачах обеспечения связи с мобильными абонентами для эффективного взаимодействия наземных поисково-спасательных служб; для транспортировки и сброса по команде оператора малогабаритных грузов в

заданную точку, что является затруднительным при использовании одиночных БПЛА [5].

Вместе с тем, управление БПЛА в составе группы значительно сложнее, чем управление одиночным аппаратом [7]. Это связано с тем, что помимо управления полетом и действиями собственно летательного аппарата необходимо обеспечить определенную взаимосвязь и согласованность его действий с другими участниками группы с учетом их групповой задачи.

Для группового управления БПЛА в этой статье предлагается использовать полиэргатическую систему управления движением группы БПЛА. Схема функционирования полиэргатической системы управления движением группы БПЛА представлена на рис. 1.

При таком способе построения системы управления (рис. 1) выполнение спланированных действий БПЛА в процессе решения общей задачи возлагается на оператора.

Оператору необходимо решить штурманскую задачу, то есть задать группе БПЛА программную траекторию движения, фазовую координату разделения группы, интервал времени, в течение которого допускается разделение группы.

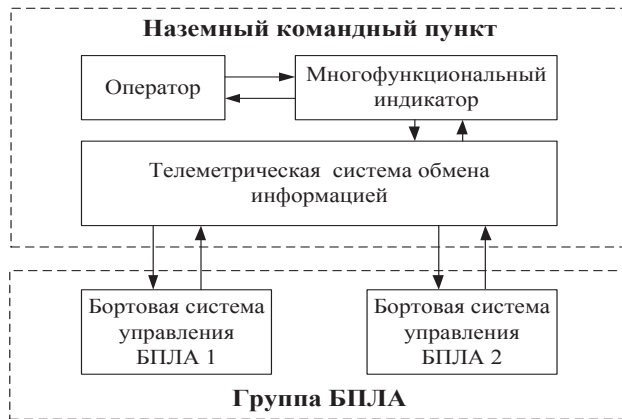


Рис. 1. Полиэргатическая система управления движением группы БПЛА

Однако, кроме штурманской задачи, существует еще задача удержания (стабилизации) группы и отдельных БПЛА на программной траектории движения и назначения наиболее благоприятного для разделения момента времени внутри заданного интервала.

Для решения перечисленных задач оператору необходимо иметь специальное устройство выработки решения, которое, выполняя функцию «интеллектуального подсказчика», помогло бы ему задавать маневры БПЛА, оценивать координаты их текущего расположения относительно заданной траектории, идентифицировать оптимальные моменты времени выполнения групповых маневров. Разработке алгоритма для «интеллектуального подсказчика» из состава многофункционального индикатора (МФИ) наземного командного пункта и посвящена эта статья.

Постановка проблемы. Для разработки алгоритма оптимального управления движением группы БПЛА предлагается использовать теорию ветвящихся траекторий [8]. Концепция применения теории оптимизации ветвящихся траекторий к решению задачи управления группой БПЛА приведена на рис 2.

На рис. 2 приняты такие обозначения: ИПМ – исходный пункт маршрута; ППМ – промежуточный пункт маршрута; ПРГ – пункт разделения группы БПЛА; Δ – метка текущего положения группы; $\Delta_i (i=1, 2)$ – метка текущего положения i -го БПЛА после разделения; Θ – метка заданного положения группы или отдельного БПЛА;

1 – траектория движения группы БПЛА с расположенными на ней пунктами маршрута, полученная в результате штурманского расчета; 2 – истинная траектория движения; 3 – истинная точка разделения группы; x или $x_i (i=1, 2)$ – расстояние

между заданным и текущим положением группы или отдельного БПЛА.

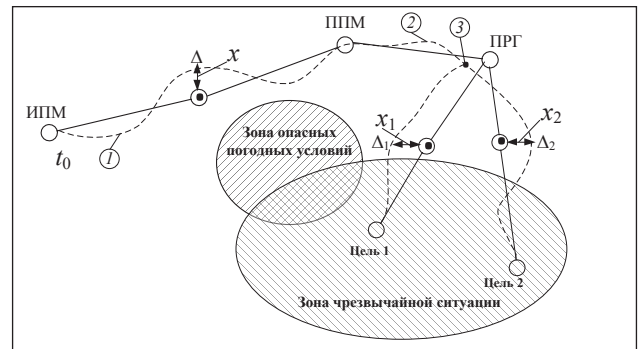


Рис. 2. Представление информации на экране многофункционального индикатора оператора

С целью физического воспроизведения образа полета группы БПЛА рис. 2. может быть перенесен на экран многофункционального индикатора (МФИ), на котором оператор наблюдает за воздушной обстановкой в районе зоны чрезвычайной ситуации, погодными условиями, следит за положением целей сбрасываемого десантируемого груза.

В силу действия различных возмущений текущее положение группы или отдельных БПЛА отличается от заданного.

Алгоритм «интеллектуального подсказчика» вырабатывает оптимальное, в смысле заданного критерия качества, управление движением метки текущего положения к заданному положению и рассчитывает оптимальный момент времени и фазовую координату разделения группы.

Командные значения оптимального управления и момента времени разделения передаются для отработки на бортовую систему управления (БСУ) БПЛА. Эволюция метки текущего положения на экране МФИ вблизи программной траектории обычно описывается детерминированными или стохастическими линейными дифференциальными уравнениями [2].

Отметим, что в качестве x или $x_i (i=1, 2)$ используется метрика того пространства, в котором решается задача.

Возможность представления группы БПЛА одной меткой на экране МФИ на участке траектории между точками ИПМ и 3 объясняется тем, что геометрические размеры строя БПЛА на несколько порядков меньше, чем расстояние, на которое они перемещаются, и поэтому для задачи оптимизации ветвящихся траекторий такое допущение является корректным [6].

Решение задачи. Предполагается, что группа БПЛА состоит из двух аппаратов, штурманская

задача уже решена и рассматривается линейная детерминированная модель движения метки текущего положения относительно заданного положения [3; 4].

$${}_q \dot{x} = {}_q a_q x(t) + {}_q b_q u(t), \quad (1)$$

где ${}_q x(t) \in E^1$, ${}_q u(t) \in E^1$, $q=1,11,12$. Схема ветвящейся траектории представлена на рис. 3.

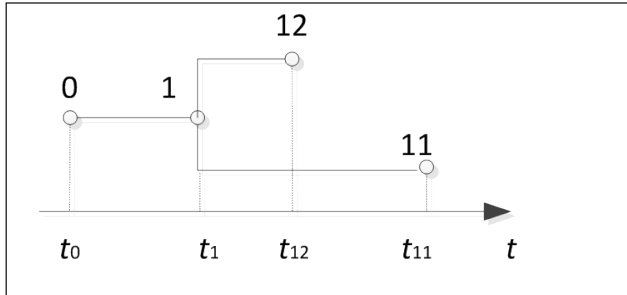


Рис. 3. Схема ветвящейся траектории

Оператору необходимо задать такую координату точки начала совместного движения группы БПЛА ${}_1 \hat{x}(t_0)$, момент времени \hat{t}_1 и координату точки разделения группы БПЛА ${}_1 \hat{x}(t_1)$, чтобы БПЛА «11» через $t_{11}=6$ с после начала совместного движения и последующего отделения достигла точки с координатой ${}_{11}x(t_{11})=4$ км, а БПЛА «12» через $t_{12}=4$ с достигла точки ${}_{12}x(t_{12})=6,92$ км, минимизировав при этом критерий

$$J = \frac{1}{2} {}_1 F_1 x^2(t_1) + \int_{t_0}^{t_1} [{}_1 Q_1 x^2(t) + {}_1 R_1 u^2(t)] dt + \sum_{j=1}^2 {}_{1j} F_{1j} x^2(t_{1j}) + \int_{t_0}^{t_{1j}} [{}_{1j} Q_{1j} x^2(t) + {}_{1j} R_{1j} u^2(t)] dt \quad (2)$$

где ${}_1 F=0,3$; ${}_{11} F=0,1$; ${}_{12} F=0,2$; ${}_1 Q=2$; ${}_{11} Q=1$; ${}_{12} Q=1$; ${}_1 R=2$; ${}_{11} R=1$; ${}_{12} R=1$.

Для решения задачи (1), (2), в которой принято, что ${}_1 a=-2,5$; ${}_{11} a=-1$; ${}_{12} a=-1,5$; ${}_1 b=1$; ${}_{11} b=0,5$; ${}_{12} b=0,5$, воспользуемся принципом оптимальности Беллмана [1].

Исходя из (1)–(2), выражение для оптимального значения управления будет иметь вид

$${}_q \hat{u}(t) = -{}_q R^{-1} {}_q b^T {}_q P(t) {}_q \hat{x}(t), \quad (3)$$

$$t \in [t_{q^*}, t_q] (q=1, q^*=0; q=11,12, q^*=1)$$

где ${}_q P(t)$ является решением дифференциального уравнения

$${}_q \dot{P}(t) = -{}_q P(t) {}_q a - {}_q a^T {}_q P(t) + {}_q P(t) {}_q b {}_q R^{-1} {}_q b^T {}_q P(t) - {}_q Q \quad (4)$$

для соответствующих краевых условий

$${}_q P(t_q) = {}_q F (q=11,12), {}_1 P(t_1) = {}_1 F + {}_{11} P(t_1) + {}_{12} P(t_1) (q=1). \quad (5)$$

Основное отличие предложенного алгоритма вычисления оптимального управления (3)–(5) от известного состоит в граничном условии (5) для $q=1$, когда граничное значение для вспомогательной переменной ${}_1 P(t_1)$ рассчитывается с учетом значений вспомогательных переменных ${}_{11} P(t_1)$ и ${}_{12} P(t_1)$ на левом конце ветвей «1–11» и «1–12» при $t=t_1$.

Используя выражения (3)–(5) для скалярной задачи (1)–(2), получаем следующие аналитические выражения для вычисления фазовых координат и вспомогательных переменных, входящих в выражение для вычисления оптимального управления:

$${}_q \hat{x}(t) = {}_q x(t_q) ch[\sqrt{\delta_q}(t_q - t) + \varphi_q] ch^{-1} \varphi_q, \quad (6)$$

$${}_q P(t) = {}_q R {}_q a + \sqrt{\delta_q} th[\sqrt{\delta_q}(t_q - t) + \varphi_q] {}_q b^{-2} \quad (7)$$

$$t \in [t_{q^*}, t_q] (q=1, q^*=0; q=11,12, q^*=1),$$

$$\text{где } \varphi_{1j} = \text{arth} \left[-{}_{1j} a + {}_{1j} b^2 {}_{1j} F_{1j} R^{-1} \delta_{1j}^{-\frac{1}{2}} \right],$$

Момент времени \hat{t}_1 разделения группы БПЛА находим из условия ${}_{11} \hat{x}(\hat{t}_1) = {}_{12} \hat{x}(\hat{t}_1)$. Затем, подставляя \hat{t}_1 в выражения для ${}_{11} \hat{x}(t)$, вычисляем координаты точки отделения и далее, полагая в выражении (6) $t=t_0=0$ при $q=1$, находим ${}_1 x(t_0)$.

В результате расчетов получаем ${}_1 x(t_0)=1,17$ км, $\hat{t}_1=1,094$ с, ${}_1 x(\hat{t}_1)=1,59$ км. На рис. 4. приведен график совместного и раздельного движения БПЛА.

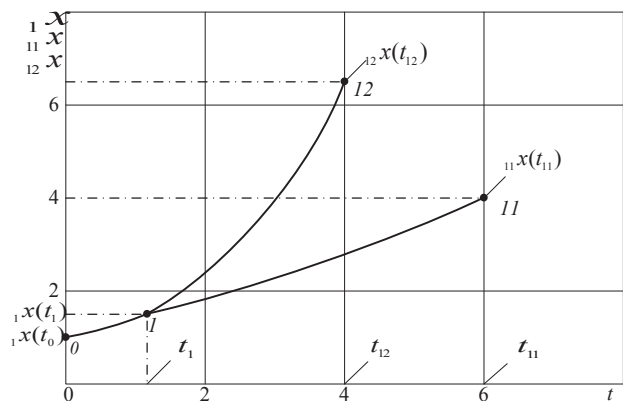


Рис. 4. График совместного и раздельного движения БПЛА

Выводы. В статье предложен алгоритм «интеллектуального подсказчика», позволяющий задавать маневры беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оценивать координаты текущего положения БПЛА относительно заданной траек-

тории, идентифицировать оптимальные моменты времени выполнения групповых маневров.

Синтезированный алгоритм вырабатывает оптимальное, в смысле заданного критерия качества, управление движением метки текущего положения к заданному положению и рассчиты-

вает оптимальный момент времени и фазовую координату разделения группы БПЛА.

Проведенные исследования показали, что полученный алгоритм не накладывает принципиальных ограничений на возможность его реализации.

Список литературы:

1. A.E. Bryson, Ho, Y.-C. Applied Optimal Control. New York-London-Sydney-Toronto. John Wiley & Sons, 1975, 481 p.
2. M. A. Richards. Fundamentals of Radar Signal Processing. McGraw-Hill Education, 2014, 472 p.
3. Ащепков Л.Т. Оптимальное управление разрывными системами. Л.Т.Ащепков – Новосибирск: Наука, 1986. – 226 с.
4. Сейдж Э.П. Оптимальное управление системами. / Э.П. Сейдж., Ч.С. Уайт. – М.: Радио и связь, 1982. – 392 с.
5. O. Lysenko, O. Tachinina, I Alekseeva, and S. Chumachenko. "The Scenario-Based Approach for Control of Multi-Object Dynamic System Motion." 3rd International Conference: Actual problems of unmanned aerial vehicles developments, October 13-15, 2015. Organized by IEEE Ukraine Section Joint SP/AES Chapter and the National Aviation University (Kyiv), pp. 305–308.
6. O. Lysenko, I. Uryadnikova, S. Valuiskyi, S. Chumachenko, and etc. "Increasing of manet throughput using quasi-optimal UAVs placement control." Liptovsky Mikulas, Slovak Republic: Armed Forces Academy. Science&Military. no.1, vol. 8, 2013, pp. 24–35.
7. O. Lysenko, O. Tachinina, I. Uriadnikova, I. Alekseeva, and S. Chumachenko, "Features of unmanned aerial vehicles group dynamics and control." International Conference "The safety management system 2016," February 22-27, 2016. Liptovsky Mikulas, Slovak Republic, Armed Forces Academy of General Milan Rastislav Stefanik, Liptovsky Mikulas, Slovakia. Pp. 391–397.
8. Лисенко О.І. Постановка задачі застосування теорії розгалужених траєкторій для вирішення задач пошуку та рятування в зоні надзвичайних ситуацій / О.І. Лисенко, О.М. Тачиніна, С.М. Чумаченко – Технічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 1 – С. 73–78.

АЛГОРИТМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПІДКАЗУВАЧА ДЛЯ ОПЕРАТОРА, ЯКИЙ УПРАВЛЯЄ ГРУПОЮ БПЛА

У статті запропоновано алгоритм «інтелектуального підказувача», що дає змогу задавати маневри безпілотних літальних апаратів (БПЛА), оцінювати координати поточного положення БПЛА щодо заданої траєкторії, ідентифікувати оптимальні моменти часу виконання групових маневрів. Синтезований алгоритм виробляє оптимальне, з урахуванням заданого критерію якості, управління рухом мітки поточного положення до заданого положення і розраховує оптимальний момент часу і фазову координату поділу групи БПЛА.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, інтелектуальний підказувач, оптимальне управління, розгалужена траєкторія.

ALGORITHM OF SMART PROMPTER FOR OPERATOR OF UAVS GROUP

The article proposes the algorithm of "smart prompter" allowing to set maneuvers of unmanned aerial vehicles (UAVs), to estimate the coordinates of current position of UAV relative to specified trajectory; and to identify the optimal moments of group maneuvers. The synthesized algorithm generates the optimal control of motion of current position mark to the predetermined position taking into account the specified quality criterion, and calculates the optimum time instant and the phase coordinate of UAV group separation.

Key words: unmanned aerial vehicles, smart prompter, optimal control, branching path.

УДК 621.396.946

Лысенко А.И.Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»**Явися В.С.**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Беспилотные летательные аппараты малых размеров с электродвигателями широко применяются в различных сферах. При этом необходимо обеспечить устойчивую, высокоскоростную передачу сигналов управления между наземным центром и самим аппаратом. Для этого предлагается использовать направленные антенны на борту аппарата. Традиционные способы реализации такой задачи оцениваются с учетом ограничений на массогабаритные и энергетические показатели.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, канал управления.

Постановка проблемы. Области применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) постоянно расширяются. Сегодня с их помощью можно контролировать техническое состояние объектов, их безопасность и режимы функционирования. БПЛА можно использовать в целях аэрофотосъемки для картографирования. Беспилотные комплексы позволяют повысить показатели телекоммуникационных сетей (живучесть, пропускную способность), они могут доставлять грузы и т. д. В военной сфере БПЛА становятся незаменимыми для решения задач разведки и целеуказания.

Как правило, любое применение БПЛА подразумевает, что получаемая с их помощью информация и сигналы управления самим аппаратом должны передаваться в реальном времени. Следует подчеркнуть, что даже кратковременные перерывы управления могут привести не только к перебоям с получением полезной информации, но и к потере самого БПЛА. Другими словами – требуется обеспечить непрерывную передачу большого объема данных при заданных требованиях по полосе пропускания, вероятности битовой ошибки и др.

Для повышения пропускной способности необходимо расширять полосу частот приемопередающего оборудования и использовать спектрально-эффективные методы модуляции. Однако это вынуждает обеспечить более высокое отно-

шение сигнал/шум (ОСШ) на входе приемника, приводит к снижению дальности действия радиосистемы, повышению вероятности ошибок и т. д.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время широко используются мультикоптерные БПЛА малых размеров с электродвигателями. При их создании выдвигаются жесткие требования как по минимизации размеров приемопередающего и антенно-фидерного оборудования, так и по потребляемой ими мощности.

Для удовлетворения требований по массогабаритным показателям и по пропускной способности целесообразным является выбор диапазона сверхвысоких частот (СВЧ). Наиболее подходящим является диапазон 2,4 ГГц, в котором в зависимости от текущего значения ОСШ можно использовать такие виды модуляции, как BPSK, QPSK, QAM16, QAM32 и т. д., обеспечивающие высокую спектральную эффективность [1].

Мультикоптерные БПЛА с электроприводом, как правило, используются на дальностях до 10 км, поэтому ограничений, связанных с «прямой видимостью», для них не существует, так как при высоте полета 50 м и высоте наземного комплекса управления (НКУ) 1,5 м (при условии его нахождения в руках оператора) дальность прямой видимости, определяемая формулой [2]:

$$D_{KM} = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})h_2$$

где h_1, h_2 – высоты БПЛА и НКУ соответственно, составит более 30 км.

Поскольку в диапазоне 2,4 ГГц затухание сигнала на расстоянии 10 км достигает 120 дБ [1], необходимо предусмотреть меры, позволяющие обеспечить требуемый энергетический уровень передаваемого сигнала. Анализ рынка малогабаритных приемопередающих устройств показывает, что наиболее распространены приемники с чувствительностью порядка 90 дБ и передатчики с усилением около 30 дБ, что позволяет перекрыть затухание именно в 120 дБ.

Однако для обеспечения вероятности ошибки порядка 10^{-6} при использовании QAM32 необходимо, чтобы ОСШ находилось на уровне не менее 18 дБ [2]. С учетом потерь в фидере приемника и передатчика (всего около 3 дБ) становится очевидным, что уровень передаваемого сигнала должен быть увеличен, как минимум, на 21 дБ, а в реальных условиях распространения сигнала и влияния непреднамеренных помех – на еще большую величину.

Постановка задачи. Решить такую задачу за счет увеличения мощности передатчика не представляется возможным, поскольку влечет за собой повышение массогабаритных показателей и значительный рост энергопотребления приемопередающего оборудования, что особенно критично для БПЛА. Очевидным выходом в этой ситуации является использование направленных антенн. В связи с этим необходимо обосновать тип антенн как НКУ, так и БПЛА, а также способ их взаимодействия.

Изложение основного материала. На НКУ целесообразно установить параболическую антенну, обладающую значительным усилением по сравнению с другими типами антенн аналогичных размеров.

Для параболической антенны коэффициент усиления рассчитывается по формуле [2]:

$$G = 10 \lg (k(\pi D / \lambda)^2 \cos \varphi), \quad (1)$$

где G – коэффициент усиления; k – эффективность или коэффициент использования поверхности антенны (для большинства антенн равен примерно 0,55); D – диаметр зеркала; $\chi \varphi \cos$ – угол прихода волны.

В соответствии с выражением (1) при диаметре зеркала 0,5 м, точно направленной антенне на БПЛА ($\varphi=0$) в диапазоне 2,4 ГГц коэффициент усиления составит всего 19,4 дБ. Дальнейшее повышение коэффициента усиления может быть осуществлено за счет увеличения диаметра зеркала, что является трудно реализуемым для носимого НКУ.

В этой ситуации задача повышения мощности может быть решена путем установки направленной антенны на борту БПЛА. При этом необходимо учесть тот факт, что ее конструкция должна обладать минимальным сопротивлением ветровой нагрузке, а также решить задачу адаптации диаграммы направленности под параметры полета БПЛА и координаты местоположения НКУ.

Управление направлением максимального усиления бортовой антенны может осуществляться несколькими способами [3], такими как установка антенны на опорно-поворотном устройстве; использование многоэлементной антенной решетки с управляемой диаграммой направленности; использование нескольких переключаемых антенн.

Реализация первого способа позволяет использовать одну остронаправленную антенну для непрерывного слежения за направлением на НКУ без разрывов связи. При установке антенны на опорно-поворотном устройстве необходимо создание вращающегося перехода. Этот элемент приемопередающего тракта может быть размещен в разных местах: перед антенной и после усилителя мощности; после передатчика и перед усилителем мощности и антенной; передающее устройство, усилитель мощности и антенна размещаются на поворотном устройстве, через многоканальный вращающийся переход передаются информационные сигналы и напряжение питания.

К недостаткам использования вращающегося коаксиального СВЧ-перехода в первую очередь нужно отнести его высокую стоимость. Кроме того, при размещении остронаправленной антенны любого типа на опорно-поворотном устройстве большая часть поверхности поворотной платформы остается неиспользуемой. Перемещение антенны в горизонтальной плоскости приводит к перемещению центра массы БПЛА, а следовательно, к дестабилизации его пространственного положения. Для повышения эффективности использования площади поворотной платформы необходимо размещать на ней, помимо антенны, передающее оборудование и усилитель мощности. В этом случае требуется простой многоканальный вращающийся переход. Необходимым требованием к такому переходу является возможность передачи таких сигналов, как Gigabit Ethernet, и возможность передачи питания выходного усилителя мощности.

Этот способ, несмотря на кажущуюся простоту реализации, имеет еще один серьезный недостаток: значительные затраты мощности на работу электропривода.

Для создания антенной системы с управляемой диаграммой направленности может быть использо-

вана кольцевая антенная решетка. Благодаря кольцевой симметрии антенной решетки удается получить направленные диаграммы, которые мало меняются при сканировании в пределах 360° в плоскости решетки.

Однако для получения большого коэффициента усиления кольцевой антенной решетки необходимо увеличивать число элементов, что в связи с массогабаритными ограничениями неприемлемо для мультикоптерных БПЛА с электроприводом. Кроме того, использование многоэлементной антенной решетки осложняется необходимостью изготовления сложных и дорогих диаграммообразующих устройств.

При использовании нескольких переключаемых антенн пространственные направления по азимуту разбиваются на секторы. С увеличением коэффициентов усиления антенн их число растет, а для размещения большого количества антенн необходимо увеличивать габаритные размеры и массу всей антенной системы. В этом случае возможно компромиссное решение между количеством антенн и их усилением, которое как обеспечит необходимый коэффициент усиления, так и удовлетворит требования относительно массогабаритных ограничений.

При наличии нескольких антенн на борту БПЛА возникает необходимость выбора антенны, направленной в сторону НКУ, требуется коммутация сигналов. Возможны несколько вариантов реализации подобной системы: переключение выхода усилителя мощности передатчика между антеннами (один передатчик, один усилитель мощности, несколько антенн); переключение выхода передатчика между усилителями мощности и антеннами (один передатчик, несколько совмещенных усилителей мощности и антенн); переключение цифрового сигнала между передатчиками (число передатчиков и усилителей мощности равно числу антенн).

В первом варианте выходной сигнал усилителя мощности коммутируется между несколькими антеннами.

Достоинством этого варианта является использование единого передающего модуля и усилителя мощности для работы на несколько антенных устройств. Общими недостатками являются потери в коммутирующем устройстве; наличие ограничений по уровню мощности для полупроводниковых коммутаторов.

Во втором варианте для снятия ограничений, которые накладывает коммутатор СВЧ-сигналов, усилитель мощности передатчика может быть вынесен за переключатель. Тогда число усилителей мощности равно числу антенн.

К недостаткам такого подхода можно отнести наличие нескольких усилителей мощности, которыми

нужно управлять (включать/выключать при переключении антенн); усилители СВЧ-сигналов высокой мощности (более 1 Вт) занимают много места и имеют большую массу. Для этого варианта необходимо разрабатывать единый многоканальный блок усилителей мощности с общей системой питания.

Третий вариант подразумевает отказ от переключателей СВЧ-сигналов ценой использования для каждой антенны своего передатчика и усилителя мощности. В этом случае переключатель сигналов выполняется на уровне цифровой логики.

К достоинствам этого подхода следует отнести высокую надежность системы: даже в случае выхода из строя одного из каналов передачи информации остальные останутся рабочими, обеспечивая связь в оставшихся азимутальных секторах. Однако при этом требуются значительные затраты на аппаратную часть как по стоимости, так и массогабаритным показателям.

Очевидно, что для мультикоптерных БПЛА предпочтительным является вариант переключения выхода усилителя мощности передатчика между антеннами. Для его реализации предлагается разместить на борту БПЛА шесть антенн типа «волновой канал». Простота конструкции антенны легко позволяет решить задачу минимизации ветровой нагрузки. С учетом массогабаритных ограничений конструкция одной антенны будет состоять лишь из трех элементов. Коэффициент усиления трехэлементной антенны типа «волновой канал» [4] – 5,5 дБ в пределах сектора 60° . Ее габаритные показатели можно определить, используя рис. 1.

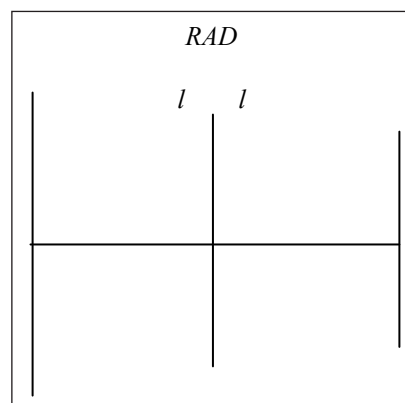


Рис. 1. Типовая трехэлементная антенна типа «волновой канал»

Известно [4], что размеры элементов антенны определяются длиной волны, а именно: активный вибратор $A=0,5\lambda$; рефлектор незначительно больше вибратора $R \geq A$; директор незначительно меньше его $D \leq A$; расстояние между рефлектором, активным вибратором и директором $l=0,25\lambda$.

Для выбранного частотного діапазона $\lambda=0,25\lambda$ м, поэтому одна антенна имеет габариты приблизительно 7×7 см. Конструкция из шести антенн (рис. 2) впишется в окружность радиусом:

$$R_6 = 2l + l \sin 60 \approx 2,87\lambda \approx 9 \text{ см,}$$

а ее вес составит около 120 г.

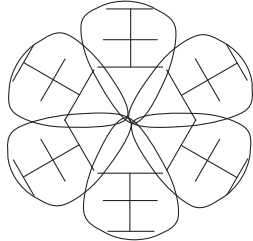


Рис. 2. Шестисекторная антенная конструкция типа «волновой канал»

Выводы. При реализации такой антенной системы усиление приемо-передающего тракта может достигнуть 55 дБ, что, например, обеспечит на удалении 10 км ОСШ на входе приемника 22 дБ, а соответственно, возможность использования модуляции QAM64 с вероятностью ошибки порядка.

Таким образом, при использовании предложенного варианта построения антенно-фидерного тракта мультикоптерного БПЛА не только решается задача обеспечения качественного канала управления, но и появляется возможность организации высокоскоростного обмена информацией с НКУ на значительных расстояниях.

Список литературы:

1. Боев Н.М. Анализ радиолиний связи с беспилотными летательными аппаратами /Электронный ресурс/ http://radio-systems.org/uav_communications_links.
2. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. / Б. Скляр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Боев Н.М., Шаршавин П.В., Нигруца И.В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния /Электронный ресурс/ <http://uav-siberia.com/content/postroenie-sistem-svyazi-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-dlya-peredachi-informacii-na>.
4. Гончаренко И.А. Антенны КВ и УКВ. Часть 3. Простые КВ антенны. М.: РадиоСофт, 2015. – 288 с.

СПОСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ КАНАЛУ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

Безпілотні літальні апарати малих розмірів з електродвигунами широко застосовуються у різних сферах. При цьому необхідно забезпечити стійку, високошвидкісну передачу сигналів управління між наземним центром і самим апаратом. Для цього пропонується використовувати спрямовані антени на борту апарата. Традиційні способи реалізації такого завдання оцінюються з урахуванням обмежень на вагогабаритні та енергетичні показники.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, канал управління.

A METHOD OF PROVIDING THE QUALITY OF UNMANNED AIRCRAFT CONTROL CHANNEL

Unmanned aerial vehicles of small dimensions with electric motors are widely used in various fields. It is necessary to ensure a stable, high-speed transmission of control signals between the ground center and the device itself. For this purpose it is proposed to use directional antennas on board the device. Traditional ways of realizing such a task are assessed taking into account the limitations on mass and size indicators.

Key words: unmanned aerial vehicle, control channel.

УДК 658.26

Матвійчук О.С.

Спеціальна контрольна комісія Верховної Ради України з питань приватизації

Кузьменко Б.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ПРО ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В УКРАЇНІ

Енергоємність української економіки порівняно з середніми показниками світової економіки (співвідношення загальної первинної енергії (primary energy supply) та валового внутрішнього продукту на душу населення) більша в п'ять разів. В Україні потрібно терміново прискорити оновлення чинного законодавства з регулювання сфери енергоефективності, прийняття базового Закону «Про енергоефективність», внесення змін до чинних законів із правового регулювання у промисловому секторі економіки України; створити конкурентний ринок теплопостачання, виписати законодавчі основи функціонування зазначеного ринку, передбачивши реальні очікування від приватизації суб'єктів зазначеного ринку.

Ключові слова: енергоефективність, промисловий сектор, ринок.

Постановка проблеми. Визначення шляхів зниження енергоємності української економіки завжди було гострою проблемою і пріоритетним завданням, що декларувалося всіма Урядами України, але реальні кроки почали здійснюватися лише в останні два роки. У статті наведено шляхи прискорення її розв'язання на основі досвіду Японії (насамперед у площині законодавчого регулювання). Наведено деякі застереження щодо створення в Україні конкурентного ринку теплопостачання, реальні очікування від приватизації суб'єктів зазначеного ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методологічні та правові засади регулювання сфери енергоефективності в Україні відображені у працях В. Баранніка, М. Булгакова, В. Джеджула, М. Земляного, М. Ковалка, Л. Кицькая, Т. Рязова, О. Суходолі, А. Шевцова.

Метою статті є аналіз правових аспектів у сфері енергоефективності, пошук шляхів удосконалення правового регулювання сфери енергоефективності з урахуванням досвіду Японії, внесення пропозицій щодо створення ринку теплопостачання в Україні.

Виклад основного матеріалу. За підсумками 2015 року в Україні співвідношення загального енергетичного споживання (total primary energy supply) та ВВП становить 2,55, тоді як середній світовий рівень – 1,9. Але, якщо ми візьмемо total primary energy supply на душу населення, Україна має фактично 1,2, а середній світовий рівень –

0,24. Тобто фактично енергоємність української економіки порівняно з середніми показниками світової економіки більша в п'ять разів.

Це говорить про те, що ми маємо в п'ять разів більше проблем у конкуренції з нашими товарами і послугами на зовнішніх ринках.

Після Паризького саміту екологізація енергетики та інших промислових виробництв набуватиме визначального значення. Співвідношення викидів CO₂ та внутрішнього валового продукту в Україні становить 0,77, а в середньому у світі – 0,37. Тобто фактично у нас цей показник у два рази перевищує середньосвітові норми.

У Європі та інших розвинених країнах зростання ВВП забезпечується за рахунок зниження енергоємності або декаплінгу, тобто відокремлення економічного зростання від споживання енергоресурсів та шкідливих екологічних викидів. У межах євроінтеграційних процесів Україна має вживати значно кардинальніших заходів, ніж ті, що передбачені Національним планом дій з енергоефективності на період до 2020 року, схваленим розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2015 р. № 1228-р, згідно з яким скорочення кінцевого споживання енергії передбачено лише на 9%. За різними оцінками потенціал скорочення кінцевого споживання енергії значно більший.

Сьогодні внаслідок загальнополітичної нестабільності в Україні абсолютно блокується стратегічне бачення розвитку економіки, вся система

ціноутворення на енергетичні ресурси в Україні базується на інвестиційних програмах однорічного діапазону, що насамперед стримує залучення приватних інвестицій у розвиток сфери енергоефективності.

Для забезпечення виконання вже визначених та нових перспективних завдань передусім необхідно прискорити вдосконалення чинної законодавчої бази, скориставшись досвідом розвинутих країн, зокрема Японії.

Сьогодні Японія є країною з одним із найвищих рівнів енергоефективності. Основним органом, який встановлює та оголошує основні принципи політики в цій сфері, є Міністерство економіки, торгівлі та промисловості. Крім того, в Японії діє центр з енергозбереження. Регулювання енергоефективності та ресурсозбереження в Японії здійснюється трьома Законами: «Про раціональне використання енергії», «Про енергетичну політику» та «Про сприяння ефективному споживанню енергії». Метою Закону Японії «Про раціональне використання енергії» є забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів відповідно до соціально-економічного становища в країні та за її межами; вживання заходів, спрямованих на раціональне використання енергії промисловими підприємствами, організаціями, транспортними та будівельними компаніями, а також під час експлуатації енергоспоживаючих машин та обладнання.

Відповідно до цього Закону розроблені основні напрями політики ефективного використання енергії:

- визначення дій, які необхідно виконувати споживачам енергії для ефективного її використання;

- визначення питань стимулювання ефективного використання енергії;

- визначення технічного рівня енергоефективності, який відповідає наявній чи прогнозованій ситуації попиту та пропозицій, технологічним можливостям та іншим обставинам. Закон зобов'язує Уряд вживати фінансових та податкових заходів для підвищення енергоефективності, сприяти науковим розробкам у цій сфері, вести просвітницьку діяльність серед населення.

Згідно з довгостроковою Енергетичною стратегією Японії до 2030 року планується підвищити рівень самозабезпеченості енергоресурсами з нинішніх 18% до 70%.

Деякі положення нормативно-регулюючої практики у сфері енергозбереження Японії, зокрема в промисловому секторі, передбачають:

1. Методичні вказівки для керівників промислових підприємств, де встановлені стандарти та нормативи і даються необхідні вказівки щодо використання енергії (раціональне спалювання палива; раціональне опалення, охолодження, телепередача; запобігання тепловитратам; використання скидового тепла; ефективно перетворення теплової енергії в електричну; зменшення витрат електроенергії).

2. Енергоменеджмент (на кожному промисловому та енергетичному підприємстві, яке споживає газ чи тепло кількістю понад 3000 т. н. е. на рік або електричну потужність 12 ГВт, рекомендовано створення служби енергоменеджменту).

3. Контроль за використанням енергії (якщо на підприємстві виявлені порушення принципів раціонального енерговикористання, Міністерство або інші уповноважені органи вимагають розроблення плану з енергозбереження та виконання викладених у ньому вимог).

4. Енергоаудит (на великих підприємствах, де існує служба енергоменеджменту, енергоаудит проводиться самостійно; на малих та середніх підприємствах (до 300 осіб) енергоаудит проводиться безкоштовно центром енергоменеджменту, на підставі чого пропонуються конкретні плани енергозбереження з визначенням очікуваних вигід та необхідних для цього коштів).

5. Регулювання енергоспоживання будівель та споруд (для всіх, хто здійснює будівництво споруд, встановлюються граничні рівні тепловитрат стін будівель, коефіцієнти енергоспоживання для кондиціонерів, вентиляторів, ефективність приладів освітлення, опалювальних систем, ліфтів тощо).

6. Заходи регулювання енергоефективності енергоємного обладнання та транспортних засобів (ефективність встановлюється на стадії виробництва, відповідні стандарти енергоефективності розповсюджуються на великих виробників та імпортерів автомобілів і побутового обладнання).

7. Інформування споживачів.

З огляду на зазначений досвід системного підходу хотілося б зазначити, що сьогодні в Україні досягнуті значні успіхи щодо зниження енергоспоживання у житлово-комунальній сфері (Держенергоефективності є структурою Мінрегіонбуду), однак у промисловій сфері досягнення у сфері енергоефективності практично відсутні.

Реалізація успішних проектів у сфері «зеленої» енергетики, теплоспоживання неминуче поставила завдання перед владними органами щодо створення в Україні конкурентного ринку тепла.

При Держенергоефективності створено робочу групу із розроблення та створення конкурентного ринку тепла в Україні. Україна має зобов'язання щодо імплементації європейських норм, у тому числі вимог Директиви 2012/27EU з енергетичної ефективності. Тому варто враховувати досвід провідних країн ЄС, які стимулюють використання когенерації та відновлюваних джерел енергії в інфраструктурі центрального теплопостачання.

На думку експертів, в Україні доцільно реалізувати модель «єдиного продавця». Зазначена модель передбачає, що постачальник тепла (оператор мережі) продає тепло споживачам одного типу на рівних умовах та за однаковими цінами. Загальна відповідальність за продаж тепла кінцевому споживачу лежить на одній компанії, наприклад, операторі магістральної мережі. Він зобов'язаний давати незалежним виробникам тепла вільний доступ до мережі на рівних умовах і закуповувати найдешевшу та найякіснішу теплову енергію на конкурентних засадах.

Для створення конкурентного ринку теплопостачання в Україні, на думку експертів, необхідно:

- на законодавчому рівні впровадити юридичний анбандлінг – розподіл наявних теплокомуненерго на підприємства, що здійснюють лише генерацію теплової енергії, її транспортування та постачання;
- відмінити заборону на приватизацію об'єктів комунальної власності, що генерують теплову енергію;
- гарантувати переважний доступ до тепломереж виробникам теплової енергії з відновлюваних джерел енергії, вискоелективної когенерації;
- удосконалити систему тарифоутворення та відносин продавця і покупця теплової енергії.

Однак варто особливо підкреслити, що основною особливістю зазначеного ринку є його сезонний характер, адже всі його учасники здійснюють виробництво теплової та електричної енергії в опалювальний сезон, як правило, з жовтня по квітень, згідно з розпорядженнями місцевих органів влади. Ефективнішою робота підприємств стане за здійснення діяльності впродовж року через забезпечення гарячим водопостачанням міст. І законодавчо необхідно виписати пріоритети забезпечення виробників тепла для гарячого водопостачання (з використанням відновлювальних джерел енергії, сміття, когенераційних установок тощо). Безумовно, в стабільній роботі зацікавлені і монополісти ринку – ТЕЦ і котельні. Крім того, ціни на товарну продукцію підприємств у вигляді електричної та теплової енергії, а також

забезпечення гарячою водою є регульованими та встановлюються державою в особі НКРЕКП. З огляду на те, що ринок тепла не може бути централізованим (як ринок електроенергії і газу), а по суті складається з регіональними ринків, на нашу думку, доцільно підняти статус обласних відділень НКРЕКП, які мають реалізувати загальнодержавну політику конкурентного ринку тепла. Зокрема, варто визначитися щодо стратегічного планування, розроблення та коригування схем теплопостачання в частині розвитку індивідуального теплопостачання в зоні централізованого теплопостачання.

При цьому найбільші складнощі, на нашу думку, можуть виникнути, коли з боку держави виникне спокуса перекласти деякі проблеми забезпечення функціонування ринку тепла на плечі приватного власника. Традиційні завищені очікування від приватизації можуть призвести до втрати генеруючих потужностей, які в умовах нецентралізованого ринку не можуть бути компенсованими (як на ринку електроенергії). Варто зазначити, що капіталізація основних фондів електроенергетичних об'єктів, що перебувають у приватній власності, є низькою за всі роки приватизації електроенергетичної галузі.

Як уже зазначалося, інтерес інвесторів до компаній буде обережним, адже обсяги виручки ТЕЦ прямо залежать від встановлених тарифів і політики регулятора. Потенційних інвесторів також можуть відлякувати посередницькі схеми, які суттєво впливають на роботу підприємств, а саме – на формування боргів перед ТЕЦ. Так, Одеська та Дніпродзержинська ТЕЦ працюють через посередницькі комунальні підприємства, що володіють міськими тепломережами, є кінцевими постачальниками теплової енергії до споживачів і одночасно – великими боржниками перед ТЕЦ.

Висновки. За підсумками 2015 року в Україні співвідношення загального енергетичного споживання (total primary energy supply) та ВВП становить 2,55, тоді як середній світовий рівень – 1,9. Енергоемність української економічної системи порівняно з середніми показниками світової економіки за total primary energy supply на душу населення більша в п'ять разів.

Національним планом дій з енергоефективності на період до 2020 року, схваленим розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2015 року № 1228-р, передбачено скорочення кінцевого споживання енергії лише на 9%.

В Україні потрібно терміново прискорити оновлення чинного законодавства з регулювання

сфери енергоефективності, прийняття базового Закону «Про енергоефективність», внесення змін до чинних законів із правового регулювання у промисловому секторі економіки України.

Під час створення конкурентного ринку теплопостачання в Україні варто врахувати як досвід

реформування енергетичних ринків в Україні, так і особливості ринку теплопостачання, виписати законодавчі основи функціонування зазначеного ринку та передбачити реальні очікування від приватизації суб'єктів зазначеного ринку.

Список літератури:

1. Закон України «Про енергозбереження» / Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1994. – № 30. – С. 283.
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2015 р. № 1228-р, «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року» Режим доступу : zakon 5.rada.gov.ua.
3. Сайт асоціації «Енергоефективні міста України». Режим доступу: <http://www.enefcities.org.ua>
4. Шевцов В., Бараннік В., Земляний М. Рязова Т. Енергоефективність у регіональному вимірі. Проблеми та перспективи. Аналітична доповідь // Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень в м. Дніпропетровську. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 13–21.
5. Кицкай Л.І., к.т.н. Енергоефективність в Україні : аналіз, проблеми та шляхи підвищення. – Іноваційна економіка, № 3, 2013.
6. Сайт Держенергоефективності України, режим доступу: <http://sae.gov.ua/uk/activity/plany-ta-zvity>.
7. Булгакова М. Енергозбереження в Україні: правові аспекти і практична реалізація / М. Булгакова, М. Приступа. – Рівне : О. Зень, 2011. – 56 с.
8. Джеджула В.В. Організаційно-економічний механізм забезпечення енергоефективності промислових підприємств / В.В. Джеджула. – Режим доступу : www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/vsunu/2012_11_1/Dghedula.pdf. 3.
9. Суходоля О.М. Енергоефективність економіки в контексті національної безпеки : моногр. / О.М. Суходоля. – К. : Вид-во НАДУ, 2006. – 424 с.
10. Цапко-Піддубна О.І. Аналіз механізмів реалізації політики енергоефективності / О.І. Цапко-Піддубна // Науковий вісн. НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.11. – С. 300–311.

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В УКРАИНЕ

Енергоемкость украинской экономики по сравнению со средними показателями мировой экономики (соотношение общей первичной энергии (primary energy supply) и валового внутреннего продукта на душу населения) больше в пять раз. В Украине нужно срочно ускорить обновление существующего законодательства по регулированию сферы энергоэффективности, принятие базового закона «Об энергоэффективности», внесение изменений в действующие законы по правовому регулированию в промышленном секторе экономики Украины; создать конкурентный рынок теплоснабжения; выписать законодательные основы функционирования указанного рынка, предусмотрев реальные ожидания от приватизации субъектов.

Ключевые слова: энергоэффективность, промышленный сектор, рынок.

ON SOME ISSUES OF ENERGY EFFICIENCY IN UKRAINE

Ukrainian energy intensity of the economy compared to the average for the world economy total primary energy supply to GDP per capita, more five times. In Ukraine, the urgent need to accelerate the upgrade of existing legislation on regulation of energy efficiency, the adoption of the basic law „On energy efficiency”, amendments to existing laws on legal regulation in the industrial sector of Ukraine. Create a competitive market supply, prescribe the legal basis for functioning of the said market, providing real expectations from the privatization of the said market.

Key words: energy efficiency, industrial sector, market.

УДК 621.396.946

Прищепя Т.О.

Інститут телекомунікаційних систем
 Національного технічного університету України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ІЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ АЕРОПЛАТФОРМАМИ

У статті описується метод підвищення пропускної здатності мобільної сенсорної мережі. Він заснований на методі, в якому для скорочення вичерпних варіантів пошуку для розміщення маршрутизаторів пропонується використовувати набір правил, об'єднану базу знань.

Ключові слова: ретранслятор, топологія, мережа, сенсор.

Постановка проблеми. Безпроводні сенсорні мережі (БСМ) є джерелом інформації для систем підтримки прийняття рішень. Якість прийнятих рішень залежить від якості інформації, що надходить, її повноти та достовірності, здатності системи, що її обробляє, проаналізувати всю інформацію, що надходить [1]. Особливістю таких мереж є наявність «мобільності», однак це може призвести до втрати зв'язності між мобільними абонентами (МА), а отже, до погіршення функціональних показників та зниження пропускної здатності всієї мережі.

Аналіз досліджень та публікацій. Ефективного використання корисної пропускної здатності БСМ можна досягти за рахунок оптимізації структури мережеских протоколів та попередньої обробки даних сенсорів у безпроводних вузлах (методи стиснення, агрегування та фільтрації даних) [2; 3].

Для підвищення загальної пропускної здатності каналів зв'язку БСМ використовують методи мережного кодування та багатошляхової маршрутизації [4; 5].

У роботах [6–9] представлені методи на основі зменшення відсотка службових даних у структурі мережеских протоколів за рахунок передачі повідомлень максимальної довжини. Але це призводить до втрати самої структури даних.

У [10] пропонується оптимізація трафіку шляхом декореляції даних, тобто усунення надлишковості. Однак використання цього підходу можливе тільки для потоків даних близько розміщених вузлів та під час вимірювання однакових фізичних

величин, що також суттєво обмежує його застосування.

Постановка завдання. Розглянемо приклад архітектури БСМ (рис. 1). БСМ складається із сукупності S кінцевих вузлів (КВ) на деякій території розміром r . Для того щоб зібрати дані з КВ і передати їх на шлюз, використовується сукупність K ретрансляторів (маршрутизаторів) з радіусом зони радіопокриття R . Якщо КВ знаходиться в зоні радіопокриття ретранслятора, дані мережею ретрансляторів потрапляють до координатора C , а від нього – на шлюз, а потім через глобальні мережі – в центр обробки даних.

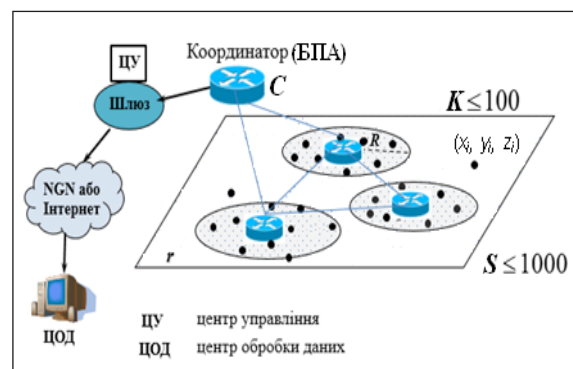


Рис. 1. Приклад безпроводної сенсорної мережі

Якщо під топологією мережі розуміти сукупність геометричного розташування її вузлів і ймовірностей використання комунікацій між ними для доставки повідомлень, то БСМ можна представити у вигляді спрямованого зваженого графа, що складається з N вершин (вузлів) і M ребер (каналів зв'язку) (рис. 2).

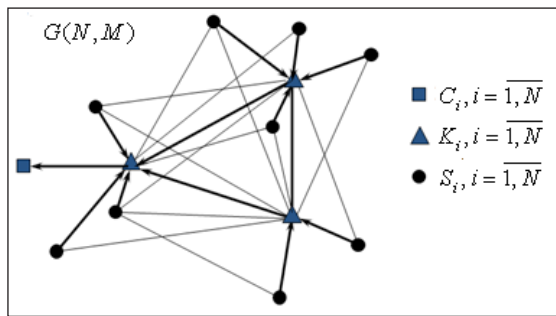


Рис. 2. Приклад графу безпровідної сенсорної мережі

Побудова маршрутів від КВ до шлюзу здійснюється за допомогою алгоритму динамічного програмування – методу Беллмана-Форда. Критеріальна функція цього алгоритму (функція Беллмана) визначає умовну вартість транспортування потоку даних між сусідніми вузлами маршруту:

$$W = C_m + C_r \xrightarrow{\|R_i\|} \min, \text{ де } C_m = \begin{cases} C_m^{nom} \\ 0 \end{cases}, \quad (1)$$

$$C_r = \begin{cases} \frac{U_{RX}^* + U_{TX}^*}{U_{max} - U_w^*} C_m^{nom}, (U_{RX}^* + U_{TX}^*) \leq (U_{max} - U_w^*) \\ \infty, (U_{RX}^* + U_{TX}^*) > (U_{max} - U_w^*) \end{cases}$$

де C_m – умовна вартість вузла БСМ, що приймає нульове значення за повторного використання вузла в топології (чим досягається мінімізація кількості ретрансляторів), C_m^{nom} – умовна номінальна вартість вузла, C_r – умовна вартість ретрансляції, U_{RX}^*, U_{TX}^* – фактичний трафік через вузол з урахуванням повторних ретрансляцій, U_{max} – максимальний трафік через вузол, U_w^* – еквівалентна щільність потоку даних, випромінюваного сусідніми вузлами з урахуванням конкуренції за доступ до середовища передачі (радіоканалу).

Таким чином, можемо сформулювати математичну постановку задачі – знайти таку топологію мережі (місце розташування ретрансляторів), яка мінімізує вартість транспортування потоків даних від сенсорів до шлюзу, за виконання обмежень на ресурси мережі, забезпечення структурної зв'язності і показників функціонування мережі:

$$X_0 = \arg \min_{X_0 \in \Omega_{1,2}} C(X) = \arg \min_{X_0 \in \Omega_{1,2}} \sum_{i=1}^{N+K} \sum_{j=1}^{N+K} W_{ij}, i \neq j \quad (2)$$

де X – вектор координат проєкцій розміщення множини БЛА; PER^0 – граничне значення ймовірності пакетної помилки в радіоканалі; P, P^0 – надійність і обмеження надійності мережі; $s(m_{ab}), t_s(m_{ab}), s^0, t_s^0$ – пропускна здатність (ПЗ) і затримка в маршруті m_{ab} і відповідні обмеження [11].

Спосіб розв'язання задачі. Алгоритм Беллмана – Форда названий за іменами вчених (Bellman, 1957; Ford and Fulkerson, 1962), які першими опублікували ідею алгоритму. Ідея досить проста. Маршрутизатор зберігає в таблиці список усіх відомих маршрутів зі вказівкою в кожному елементі таблиці мережі одержувача і цілого числа – кількості пересилань до цієї мережі. Періодично кожний маршрутизатор надсилає копію своєї таблиці іншим маршрутизаторам, до яких він має прямий доступ. Одержавши таку копію від маршрутизатора В, маршрутизатор А аналізує отриманий набір адресатів і відстаней до них. Маршрутизатор А заміняє дані у своїй таблиці, якщо маршрутизатору В відомий коротший, ніж наявний у ній, маршрут до одержувача, або якщо в його списку є невідомий йому дотепер маршрутизатор.

На підставі цієї таблиці відповідно до алгоритму Беллмана – Форда і розраховується значення метрики (наприклад, вартості маршруту, затримки тощо) для кожного та здійснюється пошук мінімального сумарного числа пересилань. Поняття «вектор дистанцій» саме і пов'язане з характером інформації, що періодично передається протоколом інформації. У повідомленнях міститься пара чисел $\{R, D\}$, де R – вектор, який визначає вузол-одержувач, а D – відстань до цього вузла-одержувача, тобто один маршрутизатор повідомляє іншому про свою можливість досягти одержувача R за D пересилань.

Під час розрахунку найкоротших шляхів між заданим вузлом і всіма іншими вузлами довжини (метрики) дуг можуть бути як додатними, так і від'ємними, але передбачається, що немає циклів від'ємної довжини. Позначимо також, що $d_{ij} = \infty$, якщо в графі відсутня дуга l_{ij} . Послідовність кроків алгоритму Беллмана – Форда полягає в тому, щоб спочатку знайти довжини найкоротших шляхів, за умови, що шляхи містять не більше однієї дуги; потім розраховуються довжини найкоротших шляхів за умови, що шляхи містять не більше двох дуг, тощо. Найкоротший шлях за умови, що шлях містить не більше h дуг, надалі називатиметься найкоротшим ($\leq h$) шляхом.

Нехай $D_i(h)$ – довжина найкоротшого ($\leq h$) шляху від вузла 1 до i -го вузла. Вважатимемо, що $D_i(h) = 0$ для всіх h . Тоді за ініціалізації алгоритму Беллмана – Форда спочатку виконується така операція:

$$D_i^{(0)} = \infty \text{ для всіх } i \neq 1$$

При кожному наступному $h \geq 0$

$$D_i^{(h+1)} = \min [D_j^{(h)} + d_{ij}] \text{ для всіх } i \neq 1 \quad (4)$$

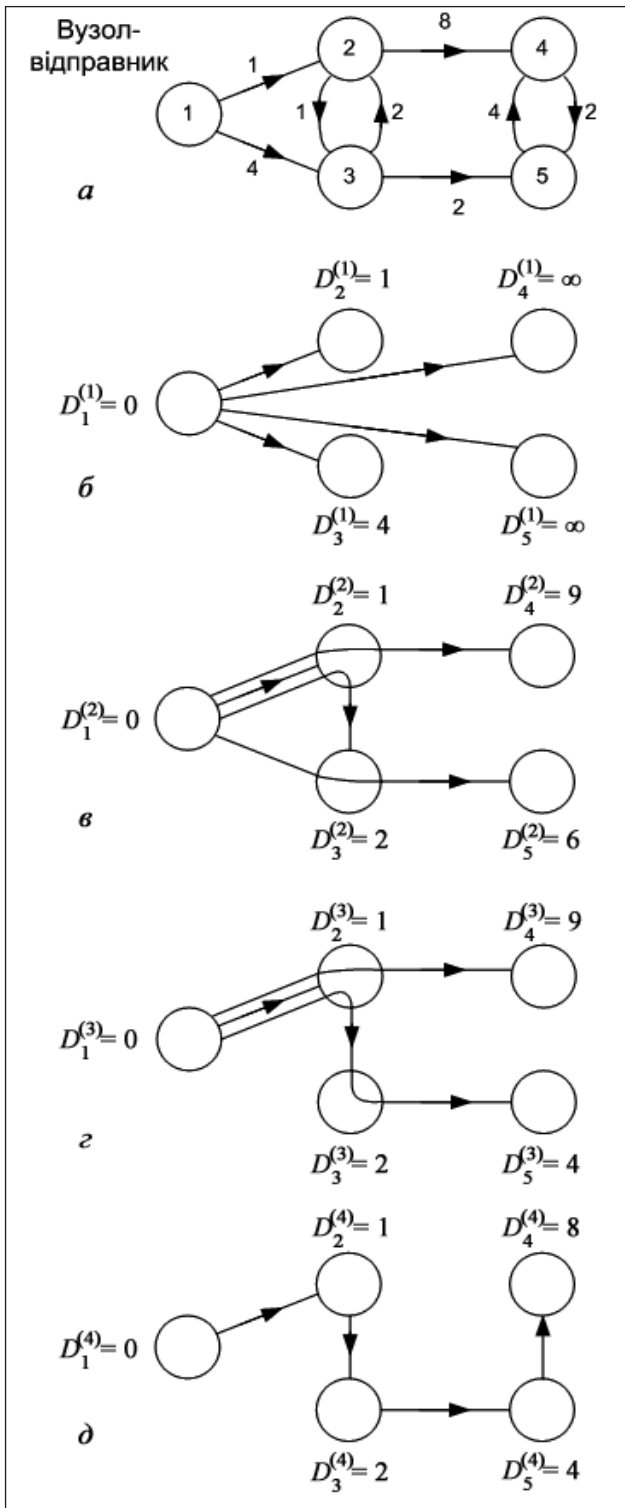


Рис. 3. Ілюстрація роботи алгоритму Беллмана – Форда

а – постановка задачі щодо визначення найкоротшого шляху із наведенням довжин дуг; б – перша ітерація: розрахунок найкоротших шляхів, що містять не більше однієї дуги; в – друга ітерація: розрахунок найкоротших шляхів, що містять не більше двох дуг; г – третя ітерація: розрахунок найкоротших шляхів, що містять не більше трьох дуг; д – результат розв’язання задачі: підсумкове дерево найкоротших шляхів

Роботу алгоритму проілюстровано на рис. 3. Число ітерацій алгоритму в найгіршому разі дорівнює $(m - 1)$, кожна ітерація має бути проведена для $(m - 1)$ -го вузла, а для кожного вузла мінімізація здійснюється якнайбільше за $(m - 1)$ -ю змінною. Таким чином, у найгіршому разі обсяг обчислень зростає як m^3 , що записується у вигляді $O(m^3)$. Більш ретельний підрахунок свідчить, що обсяг обчислень дорівнює $O(\alpha n)$, де n – число дуг, а α – максимальне число дуг, що міститься в найкоротшому шляху. Почасті популярність алгоритму Беллмана – Форда пояснюється тим, що у разі, коли довжини всіх дуг додатні, початкові умови $D_i(0)$ для $i \neq 1$ можуть бути будь-якими невід’ємними числами й ітерації (4) можуть виконуватися паралельно для різних вузлів у довільному порядку, що має велике значення для аплікацій із розподіленими алгоритмами. На використанні алгоритму Беллмана – Форда засновані протоколи вектора відстаней або дистанційно-векторні протоколи (VectorDistanceProtocol), до яких, наприклад, належать протоколи RIP та IGRP.

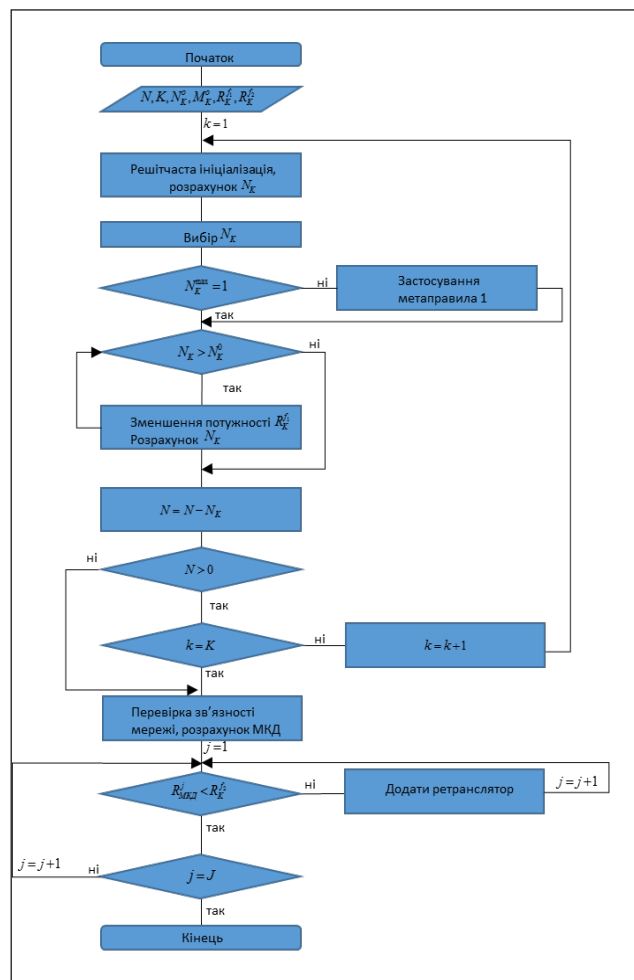


Рис. 4. Схема-алгоритм управління положенням маршрутизаторів

Відомі алгоритми перерахування графів приводять до отримання точних рішень, але наявність сотні (тисячі) вузлів потребує значних затрат часу. Тому для скорочення повного перебору варіантів розміщення ретрансляторів пропонується використовувати сукупність правил, поєднаних у базу знань [13].

Це дає змогу отримати в реальному часі близькі до оптимальних рішення та використову-

вати запропонований алгоритм для оперативного управління положенням ретранслятора.

Висновки. У статті наведений алгоритм пошуку доцільного розміщення маршрутизаторів під час розгортання безпроводних сенсорних мереж. За основу було взято метод, в якому для скорочення повного перебору варіантів розміщення маршрутизаторів пропонується використовувати сукупність правил, поєднаних у базу знань.

Список літератури:

1. Прищеп Т.О. Порівняльний аналіз форматів передачі інформації у безпроводних сенсорних системах на безпомилковість // Науковий вісник АМУ, серія «Техніка». – 2014. – В. 8. – С. 122–127.
2. Kasirajan, Priya, Carl Larsen, and Sarangapani Jagannathan. A new data aggregation scheme via adaptive compression for wireless sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2012. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 5.1–5.26.
3. Abughaliieh, N., Steenhaut, K., Nowé, A. Low power channel coding for wireless sensor networks. Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT), 2010 17th IEEE Symposium on. IEEE, 2010. – Pp. 1–5.
4. Томас М. Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 816 с.
5. Яцків В.В. Алгоритм мережевого кодування даних на основі системи залишкових класів/ В.В. Яцків, Ю.С. Магійшин, О.І. Крушельницький // АСІТ'2013, Тернопіль, 17–18 травня 2013 р. – С. 84–85.
6. Толстикова Е.В. Минимизация избыточности объема передачи данных в сети радиодатчиков // Проблемы информатизации та управління. – 2010. – № 1(29). – С. 168–171.
7. Мерекин Ю.В. Нижняя оценка сложности для схем конкатенации слов // Дискретный анализ и исследование операций. – 1996. – Том 3, № 1. – С. 52–56.
8. Qi, Y. Xu, X. Wang. Mobile-agent-based collaborative signal and information processing in sensor networks. Proceedings of the IEEE, 2003, Vol. 91, №8. – Pp. 1172–1183.
9. Abdelzaher T, He T, Stankovic J. Feedback control of data aggregation in sensor networks. In: In conference Decision and Control, 2004. CDC. 43rd IEEE Conference on. IEEE, 2004. – Pp. 1490–1495.
10. Николайчук Я.Н. Теорія джерел інформації – Тернопіль: ТЗОО «Тернограф» – 2010. – 534 с.
11. О.І. Лисенко, Т.О. Прищеп Алгоритм пошуку доцільного розташування вузлів безпроводних сенсорних мереж // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій – 17». – 2017.
12. Поповський В.В., Лемешко О.В., Ковальчук В.К., Плотников М.Д., Картушин Ю.П., Попонін О.М., Агеев Д.В., Сабурова С.О., Олійник В.Ф., Персіков А.В., Лошаков В.А. Селіванов К.О. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. Том 1, електронний ресурс <http://www.znanius.com/3534.html>.
13. Валуцький С.В., Прищеп Т.О., Димид М.Д. Алгоритм пошуку раціонального розміщення ретрансляторів при розгортанні безпроводних сенсорних мереж // Науковий вісник Академії муніципального управління. Збірник наукових праць. Серія «Техніка». – 2016. – Вип. 11. – С. 1–9.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МОБИЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ С ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫМИ АЭРОПЛАТФОРМАМИ

В статті описується метод підвищення пропускної спроможності мобільної сенсорної мережі. Він оснований на методі, в якому для скорочення виснажливих варіантів пошуку для розміщення маршрутизаторів пропонується використовувати набір правил, об'єднану базу знань.

Ключевые слова: ретранслятор, топологія, мережа, сенсор.

METHOD TO INCREASE THE THROUGHPUT OF MOBILE SENSOR NETWORKS WITH TELECOMMUNICATIONS AIRPLANES

The article describes a method for increasing the capacity of a mobile sensor network. It was based on a method in which to reduce the exhaustive search options for router placement it is suggested to use a set of rules, a combined knowledge base.

Key words: repeater, topology, network, sensor.

УДК 621.396.946

Романюк А.В.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Давидюк В.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МАСШТАБОВАНИХ AD-HOC МЕРЕЖ

У статті досліджується ідея розроблення протоколу множинного доступу для використання у безпроводних сенсорних мережах, що дасть змогу досягати великої пропускної здатності за великих розмірів мережі. Надається обґрунтування необхідності протоколу, опис реалізації протоколу, а також наводяться результати моделювання мережі, що застосовує розглянутий протокол.

Ключові слова: безпроводна сенсорна мережа, ad-hoc, пропускна здатність, продуктивність.

Зі впровадженням малопотужних безпроводних сенсорних мереж у різних галузях науки та техніки дослідження можливості їх масштабування стає головним критерієм під час розроблення ефективних протоколів медіадоступу. У мережах значних розмірів, що складаються з вузлів, які можуть одночасно входити у режими високої активності за виникнення певних факторів, пропускна здатність цих мереж може значним чином зменшуватися, коли велика кількість вузлів починає передавати дані. Зі зростанням вимог до передачі даних буде зростати необхідна кількість вузлів мережі, що тільки ускладнюватиме цю проблему. Отже, під час розроблення протоколів медіадоступу необхідно враховувати як один із головних критеріїв залежність пропускної здатності від кількості вузлів, що беруть участь у передачі.

Розподілена функція координації (DCF, distributed coordination function) стандарту IEEE 802.11 базується на множинному доступі з контролем несучої та запобіганням колізій (CSMA/CA). Алгоритм CSMA/CA нещодавно був включений у специфікацію MAC у IEEE 802.15.4, він підтримує безпроводні ad-hoc мережі з низькою потужністю та невисокою пропускною здатністю, що складаються із сенсорів та можуть сягати розмірів 255 вузлів.

У CSMA/CA дуже широко використовується алгоритм BEB (binary exponential backoff, двійкова експоненційна затримка). У BEB кожна стан-

ція обирає випадковий таймер, що рівномірно розподілений всередині певного часового інтервалу, так званого «вікна». Таймер затримки починає відраховувати час тоді, коли канал залишається невикористовуваним більше часу, ніж розподілений інтервал між кадрами DIFS (distributed interframespace), а зупиняється відповідно тоді, коли починається передача. Коли таймер дораховує час до нуля, вмикається передача свого таймслота. У разі виявлення колізій часове вікно збільшується вдвічі, але не більше певного значення CW_{max} . За вдалої передачі вікно зменшується до свого мінімального значення CW_{min} .

В інших джерелах було розглянуто проблему масштабування мереж шляхом зміни параметрів MAC, аби пристосуватися до зміни кількості вузлів. У [2] авторами було розглянуто алгоритм затримки з вікном розміру W , оптимальним для заданої кількості вузлів. У [3] запропонували принцип оцінки кількості вузлів-конкурентів, заснований на методі Калмана, що базується на моніторингу в режимі реального часу статистики колізій та успішних передач для кожного вузла, тобто робиться оцінка кількості вузлів, після чого параметри MAC підбираються таким чином, аби максимізувати пропускну здатність. У цій статті пропонується розроблення інтелектуальних алгоритмів затримки, що гарантуватимуть високу пропускну здатність.

У статті представлений апарат для вивчення змін пропускної здатності та масштабу мережі, а також причини певних недоліків у алгоритмах затримок за зміни масштабів мережі. Крім цього, детально розглянуто послідовний алгоритм затримки та покращення пропускної здатності шляхом модифікації двовимірної дискретно-часової марковської моделі з переходами станів станцій у режимі затримки. Наведено математичне трактування залежності ймовірності передачі від розміру вікна затримки та ймовірності колізії.

Аналітична модель

Визначимо початкові умови. У моделі час ділиться на слоти, довжина пакетів постійна, кожна рівна одному тайм-слоту. Припустимо, що всі вузли синхронізовано і передача починається з початком кожного слоту. Оскільки мережа є досить навантаженою, то у кожній станції є пакет для передачі, і з ймовірністю τ станція передає пакет у цьому слоті.

Головним припущенням є те, що визначаємо постійну ймовірність колізії, тобто кожна станція, що ініціює передачу, матиме колізію з постійною і незмінною ймовірністю p . Це припущення є швидше інтуїтивним, у тому сенсі, що з ростом кількості вузлів n стан системи, тобто повна кількість пакетів, що потенційно будуть потрапляти у колізію з цією станцією, не буде залежати від кількості повторних передач цієї станції. Це припущення допоможе нам змоделювати стан затримок кожної окремої станції за допомогою процесу Маркова. Ймовірність передачі залежить від режиму затримки.

Далі йдеться про аналіз пропускної здатності за використання двобічного експоненційного алгоритму затримки.

Алгоритм обчислення ймовірності передачі та ймовірності колізій

Аби проаналізувати пропускну здатність режиму затримки, використаємо двовимірний ланцюг Маркова і змодельємо затримки на кожній станції. Позначимо як $b(t)$ $s(t)$ випадкові процеси, що визначають розмір вікна затримки та стани затримки відповідно. Наприклад, якщо $s(t)=i$, то $b(t)$ випадковим чином обирається з інтервалу $[0, W_i-i]$.

Значення $b(t)$ зменшується у разі t_{idle} , тобто коли канал залишається незайнятим більше часу, ніж DIFS. Стан $s(t)$ змінюється за виникнення передачі. Під час послідовної затримки за успішної передачі лічильник затримки зменшується на одиницю, на відміну від алгоритму BEB, де в

цьому разі лічильник обнуляється. Варто зазначити, що у цій роботі, на відміну від експоненційної затримки, ми використовуємо визначені розміри вікон $[W_1, W_2, \dots, W_m]$. Таким чином, завдання цієї статті – проаналізувати вплив розміру вікна на пропускну здатність та порівняти з випадком двійкової експоненційної затримки, за якої $W_i=2^i$.

Використовуючи результати з [3] та [4], можемо розписати розподіл станів затримок та лічильники, а також вивести ймовірність передачі залежно від ймовірності колізії. Отже, ймовірність передачі τ рівна ймовірності того, що ланцюг Маркова перебуває у одному зі станів $b_{i,0}$, тобто один із лічильників затримки сягає нуля.

Запишемо вираз для обчислення ймовірності передачі залежно від ймовірності колізії:

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \quad (1)$$

$$\tau_{seq} = \frac{2(1-c^{m+1})}{\sum_{i=0}^m (1-c)c^i W_i + 1 - c^{m+1}} \quad (2)$$

де c – фактор колізії для послідовної затримки, визначається як

$$c = \frac{p}{1-p} \quad (3)$$

Таким чином, рівняння (2) характеризує загальну ймовірність передачі залежно від розміру вікна W_i та ймовірності колізії p .

Як видно з (2), ймовірність передачі τ залежить від ймовірності колізії p , коли існує певна зворотна залежність. Нагадаємо, що колізія виникає саме тоді, коли під час передачі цією станцією даних хоча б одна з інших $n-1$ станцій також починає передачу даних. Звідси

$$p(\tau) = 1 - (1-\tau)^{n-1} \quad (4)$$

$$\tau^*(p, n) = 1 - (1-p)^{1/(n-1)} \quad (5)$$

Розв'язавши систему нелінійних рівнянь (3), (5), отримаємо значення $\{p^*, \tau^*\}$, які визначимо як стійку робочу точку системи. Як буде показано далі, існує певний набір $\{p_{opt}, \tau_{opt}\}$, за якого пропускну здатність максимізується. З іншого боку, робоча точка мережі залежить від розмірів і режиму затримки. Таким чином, алгоритм обчислення ймовірності передачі і ймовірності колізій задається рівняннями (1) – (5).

Алгоритм обчислення пропускної здатності

Нехай P_{busy} – ймовірність того, що у домені колізій наявна передача, тобто хоча б одна станція ініціює передачу в цьому слоті:

$$P_{busy} = 1 - (1-\tau)^n \quad (6)$$

Ймовірність успішної передачі P_s – ймовірність того, що лише одна станція передає у цьому слоті дані

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1-(1-\tau)^n} \quad (7)$$

Розрахуємо пропускну здатність таким чином:

$$S = \frac{P_s P_{\text{визу}} E[\text{Payload}]}{(1-P_{\text{визу}})\sigma + P_{\text{визу}} P_s T_s + P_{\text{визу}} (1-P_s) T_c} \quad (8)$$

де σ – час слоту, T_c – середній час колізій, T_s – середній час передачі. Переписавши (8), отримаємо

$$S = \frac{E[\text{Payload}]}{T_s - T_c + \frac{\sigma(1-P_{\text{визу}})/P_{\text{визу}} + T_c}{P_s}} \quad (9)$$

Для максимізації пропускну здатності необхідно максимізувати рівність

$$U(\tau, n) = \frac{P_s}{(1-P_{\text{визу}})/P_{\text{визу}} + T/\sigma} = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{T_c^* - (1-\tau)^n (T_c^* - 1)} \quad (10)$$

Використовуючи (4), виразимо функцію користності залежно від ймовірності колізії p :

$$U(p, n) = \frac{n(1-p)(1-(1-p)^{n-1})}{T_c^* - (1-p)^{n-1}(T_c^* - 1)} \quad (11)$$

де T_c^* – середня кількість зайнятих слотів, за якої трапляються колізії. При великих значеннях n (11) можна записати:

$$U(p, n) \approx \frac{n(1-p)p}{1+p(T_c^* - 1)} \quad (12)$$

Таким чином, вирази (6) – (12) задають алгоритм обчислення пропускну здатності.

Дослідимо пропускну здатність на максимум. Диференціюючи (12) по величині p , отримаємо оптимальну величину ймовірності колізій:

$$p_{\text{opt}} \approx \frac{\sqrt{T_c^*} - 1}{T_c^* - 1} \quad (13)$$

Як раніше згадувалося, режим затримки вказує, яким чином робоча точка змінюється за різних розмірів мережі.

Перейдемо до розгляду задачі щодо знаходження таких значень розмірів вікна, щоби функція (2) змінювалася таким чином, щоби робоча точка мережі завжди була оптимальною, як визначено у (13).

Алгоритм обчислення оптимального розміру вікна

Оскільки відношення між ймовірностями передачі та колізій виражається складними нелінійними рівняннями, розв'язання задачі для довільних розмірів вікна є дуже складним та деколи неможливим. Як показано на рис. 1, хоч відношення і нелінійне, якщо ми сформуємо функцію затримки (2) близькою до ідеальної ступінчатої функції, тоді результуючі розв'язання завжди будуть вести до точної ймовірності колізій, і якщо ця ймовірність близька до оптимальної, то пропускну здатність буде оптимальною за різних розмірів мережі.

Щоб зімітувати ідеальний метод затримки, використаємо методи апроксимації. Задача зводиться до знаходження значень W_i , щоб апрок-

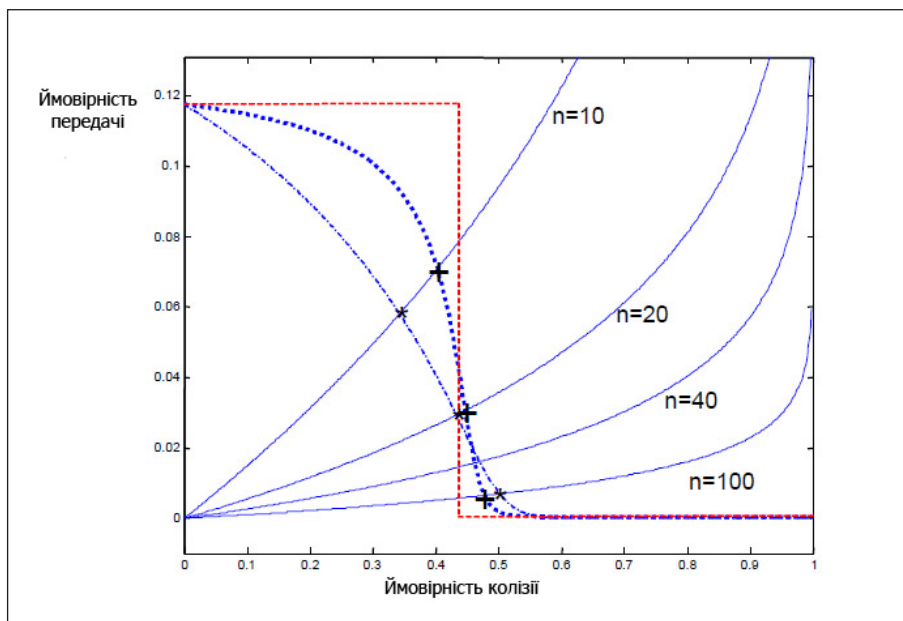


Рис. 1. Порівняння розглянутого алгоритму і двійкового експоненційного алгоритму затримки залежно від кількості вузлів

симувати реальну функцію затримки з ідеальною:

$$\tau_{seq} = \frac{2(1-c^{m+1})}{\sum_{i=0}^m (1-c)c^i W_i + 1 - c^{m+1}} \approx \tau^*(c) \quad (14)$$

де

$$\tau^*(c) = \begin{cases} \frac{2}{W_0 + 1} & c < c^* \\ \frac{2}{W_m + 1} & c > c^* \end{cases} \quad (15)$$

Ідеальна функція показана на рис. 1. Оптимальний фактор колізії c^* може бути визначений з (3) та (13) як

$$c^* \approx \frac{1}{\sqrt{T_c}} \quad (16)$$

Перепишемо (14) таким чином:

$$\sum_{i=0}^m c^i W_i = \sum_{i=0}^m c^i \left(\frac{2}{\tau^*(c)} - 1 \right) \quad (17)$$

Необхідно апроксимувати наступну функцію за допомогою поліноміальних коефіцієнтів:

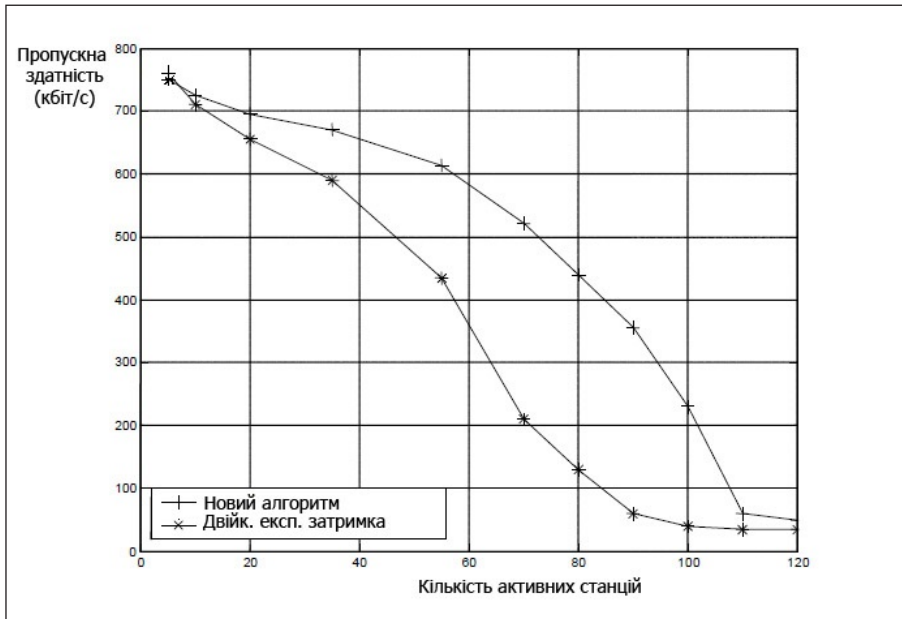


Рис. 2. Середня пропускна здатність під час використання розглянутого алгоритму і двійкового експоненційного алгоритму затримки

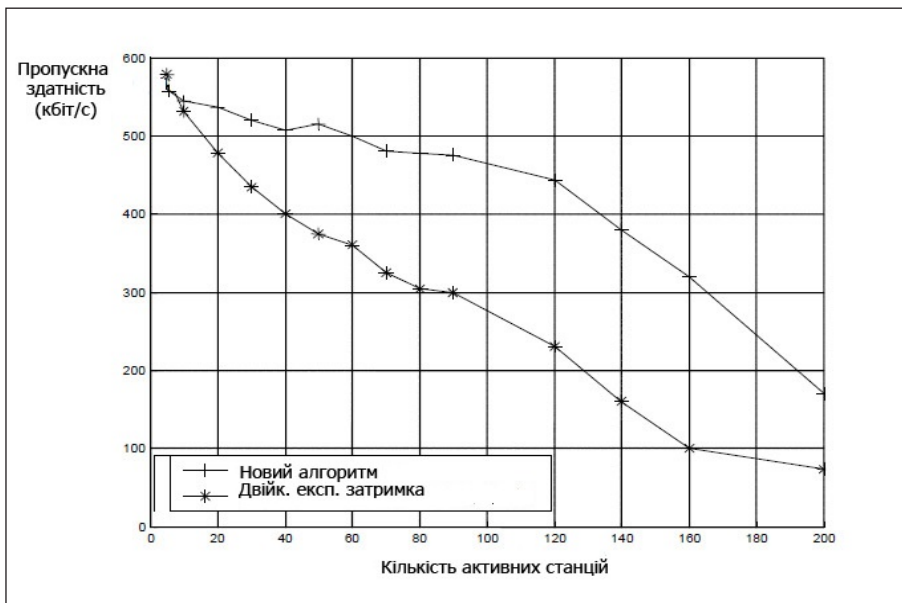


Рис. 3. Середня пропускна здатність під час використання розглянутого алгоритму і двійкового експоненційного алгоритму затримки під час використання RTS/CTS

$$g(c) \stackrel{\Delta}{=} \left(\frac{2}{\tau^*(c)} - 1 \right) = \sum_{i=0}^m a_i c^i \quad (18)$$

Оскільки перший множник поводить як інтегратор щодо поліноміальних коефіцієнтів,

$$W_i = \sum_{j=0}^i a_j \quad (19)$$

Щоб знайти значення a_i , можна використати 3 форми апроксимації функції, кожна з яких сприятиме своєму методу затримки (Баттерворта, еліптична і Чебишева):

$$g(c) = \begin{cases} \frac{W_0}{W_m} & c < c^* \\ c > c^* \end{cases} \quad (20)$$

Використаємо апроксимацію Баттерворта k -го порядку для функції $g(c)$:

$$g(c) \approx \frac{W_0}{1 - (\frac{c}{c^*})^k} = W_0 \sum_{i=0}^{\lfloor m/k \rfloor} (\frac{c}{c^*})^{ki} \quad (21)$$

Звідси

$$a_i = \begin{cases} W_0 (\frac{1}{c^*})^{ki} & i = kn < m \\ 0 \end{cases} \quad (22)$$

Використовуючи рівняння (19) і (22), отримаємо такий розмір вікна:

$$W_i = \sum_{j=0}^{\lfloor i/k \rfloor} W_0 (\frac{1}{c^*})^{k \cdot j} \quad i \leq m \quad (23)$$

Застосування запропонованих алгоритмів обчислення ймовірності безпомилкової передачі інформації, ймовірності колізій, пропускної здатності, оптимального розміру вікна порівняно з існуючими представлено на рис. 1, 2, 3.

Із графіків видно, що апроксимація Баттерворта є найпростішою, тоді як еліптична апроксимація того самого порядку демонструє дещо кращий результат.

У першому випадку під час моделювання використовувалися WLAN 802.11b модулі OPNET. Фізичний рівень моделі базується на розширенні спектру зі скачкоподібним перелаштуванням частоти зі швидкістю передачі даних 1 Мбіт/с.

Підкреслимо, що кількість вузлів змінюється від 5 до 120, кожна станція передає пакети довжиною 1024 байти. Час між передачами обрано так, щоби черги передачі ніколи не залишались пустими. У другому випадку було використано безпроводні модулі з RTS/CTS. Для цього механізму доступу розміри пакетів мають експоненційний розподіл з довжиною пакета 1024 байти. Результатом моделювання було отримання статистики пропускної здатності у стаціонарному стані системи. Результати показані на рис. 2 та 3.

Як видно з рисунків, шляхом зміни кількості вузлів двосторонній експоненційний алгоритм затримки дає дещо кращу пропускну здатність, ніж двійковий експоненційний алгоритм, що показано в обох випадках.

Висновки. Результати моделювання демонструють, що новий алгоритм демонструє стійку пропускну здатність, коли кількість вузлів є невеликою (наприклад 10) або великою (наприклад 100), а також дає більшу ємність порівняно з двійковим експоненціальним алгоритмом затримки.

Застосування запропонованих алгоритмів обчислення ймовірності безпомилкової передачі інформації, ймовірності колізій, пропускної здатності, оптимального розміру вікна в системі управління сенсорною мережею дасть змогу уникнути ефекту значного зменшення її пропускної здатності у мережах ad-hoc зі зростанням розмірів мережі.

Список літератури:

1. Ali Motamedi, Hamid Aghajan, Ahmad Bahai «Throughput Persistence of Scalable Mobile Ad-hoc Networks»: Evaluation and Enhancement, 2004.
2. G. Bianchi, I. Tinnirello “Kalman filter estimation of the number of competing terminals in IEEE 802.11 network”, INFOCOM 2003, 22(2), pp. 844–852, 2003.
3. Jian Ma, “IEEE 802.11 Distributed coordination function (DCF): Analysis and enhancement”, ICC 2002 – IEEE International Conference on Communications, no. 1, April 2002, pp. 605-609.
4. G. Bianchi, “Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function”, IEEE JSAC, 18(3), pp. 535–547, 2000.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МАСШТАБИРУЕМЫХ АД-НОС СЕТЕЙ

В статье исследуется идея разработки протокола множественного доступа для использования в беспроводных сенсорных сетях, что позволит достигать большей пропускной способности при больших размерах сети. Предоставляется обоснование необходимости протокола, описание реализации протокола, а также приводятся результаты моделирования сети, которая применяет рассмотренный протокол.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, ad-hoc, пропускная способность, производительность.

PROVIDING STABILITY OF THROUGHPUT OF SCALABLE AD-HOC NETWORK

In this paper the idea of developing multiple access protocol for use in wireless sensor networks that will achieve high throughput for large size networks. The background of necessity of protocol is provided, a description of protocol implementation, and also results of network modelling are provided.

Key words: *wireless sensor network, ad-hoc, throughput performance.*

УДК 502.3:504.03

Соболев В.А.

Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского

К ПРОЕКТУ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА БЕСПЛОДНЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

В статье освещается решение современных экологических проблем (в том числе задач рекультивации и реабилитации земельных ресурсов) путем практического применения органо-минеральных композиций (ОМК) и избирательных сорбентов (ЦлР) на основе модифицированных природных цеолитсодержащих и других материалов с целью повышения качества жизни населения в экологически неблагоприятных регионах.

Ключевые слова: *загрязнения техногенные, тяжелые катионы, ремедиация, агропроизводство вертикальное, гелиоветерарий, материалы базальтоволоконистые.*

Введение. Наличие во многих регионах месторождений нефти и газа, пустынь и бесплодных земель, загрязнение Мирового океана, дефицит пресной воды обуславливают существование ряда экологических проблем, решение которых требует комплексного подхода, базирующегося на рекультивации бесплодных и загрязненных территорий путем создания и практического применения продуктов на основе природных минералов, связывающих токсичные катионы в водоневываемые комплексы и значительно повышающих продуктивность сельскохозяйственных культур. Глобальные климатические изменения ставят новые вызовы нашей цивилизации, но способно ли человечество с его нынешним менталитетом и уровнем ответственности противостоять наступлению экологической катастрофы? Авторы [1] проанализировали эволюцию климата планеты и современные тенденции его изменения и предложили некоторые меры по минимизации последствий климатических метаморфоз. Следует лишь добавить к выводам авторов, что без учета отмеченных ими негативных моментов в своей жизнедеятельности наша цивилизация может прекратить свое существование в ближайшем будущем.

Без сомнения, наиболее опасным из экологических рисков является парниковый эффект, основной компонент которого – наличие огромного запаса углекислого газа в атмосфере и объемы его техногенной эмиссии (около 20 млрд.т/год). По разным причинам его концентрация в воздухе возросла на 30% по сравнению с доинду-

стриальной эпохой и продолжает возрастать (считается, что до 2060 г. содержание CO₂ в атмосфере вызовет повышение среднегодовой приземной температуры на 1–3°C). Второй по значимости парниковый газ – метан, природный компонент жизнедеятельности планеты, который обеспечивает 15% глобального потепления. По сути, лишь в последние годы начали проявляться основные экологические негативы, и специалисты осмысливают степень их воздействия на ближайшее будущее. Эффект глобального изменения климата планеты был официально признан научным фактом межгосударственной Мадридской конференцией ООН в 1995 г., когда стало ясно, что если в ближайшие 15–20 лет человечеству не удастся существенно замедлить темпы потепления, то довольно скоро придется срочно адаптироваться к новым условиям жизни (выживания!). По оценкам специалистов, до 2065 г. размеры убытков могут превысить валовый мировой продукт, и выльется это в жесткий дефицит продуктов питания, особенно при нынешних фантастических темпах прироста населения (1% ежегодно!). При этом неизбежен вопрос большей части людей: «А ради чего трудиться!?» – и начнется обратный отсчет в развитии цивилизации...

Автор этой статьи предлагает практические решения некоторых эколого-экономических проблем, составляющие единый проект, без реализации которого сегодня для человечества может не наступить завтра! Конечной целью проекта является экологически чистое и продуктивное

землепользование и рекультивация бесплодных территорий с применением органоминеральных композиций на цеолитовой основе, очищение загрязненных водных потоков и водной поверхности от нефте- и других органических загрязнений с применением базальтоволоконистых материалов, решение других эколого-экономических задач с помощью созданных композиций. Комплекс работ выполняется в сотрудничестве с упомянутыми ниже соавторами и партнерами.

Краткое описание предлагаемых решений

Ремедиация загрязненных территорий с применением органо-минеральных композиций (Н.А. Корбут, УжНВП «ОМК»)

Полученные ранее результаты показывают, что композиции на основе модифицированных цеолитсодержащих минералов улучшают структуру почвы, предотвращают образование нитратов, повышают продуктивность агропроизводства, связывают катионы тяжелых металлов (и радионуклиды) в водоневываемые комплексы, что обеспечивает условия экологически чистого земледелия без нарушения традиционных севооборотов [2; 3]. При этом эффективность связывания тяжелых катионов и РН в почве – до 99,8% (в стендовых условиях); степень перехода катионов Pb, Zn, Cu и др. в биомассу растений снижается в 4–5 раз уже в сезон применения. Связанные тяжелые катионы не вымываются водой в течение нескольких сезонов и не переходят в биомассу растений.

В смеси с ОМК селективные сорбенты были испытаны в целях очистки земель от катионов тяжелых металлов (г. Будапешт, район выбросов аккумуляторного завода) и радиационных загрязнений (100 га в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС), а также для повышения продуктивности сельскохозяйственного производства (Институт агропроизводства ААНУ). Использование ОМК было рекомендовано для ликвидации последствий «цианидной катастрофы» в Восточной Европе; возможно их применение для рекультивации «хвостохранилищ» в уранодобывающих регионах. Избирательный сорбент может быть компонентом фильтроматериалов широкого назначения (водоподготовка; микрокапсулирование и безопасное захоронение токсичных веществ). Композиции типа ОМК в других странах (Венгрия, США, Россия) – простые смеси природных минералов с органическим компонентом (например, куриным пометом) и не являются самодостаточными и стабилизированными по содержанию микро- и макроэлемен-

тов, а их применение предусматривает одновременное использование минеральных удобрений. Ожидаемые результаты внедрения нашего проекта в достаточно крупных масштабах:

- возвращение загрязненных (тяжелыми катионами, радионуклидами, нефтепродуктами) и нарушенных территорий, в том числе нефте- и военных баз, в продуктивное хозяйствование;

- возможности «вертикального» экологически чистого агропроизводства, рекультивация и консервация земельных и водных ресурсов на пользу будущим поколениям людей;

- озеленение бесплодных и пустынных территорий, восстановление животноводства и птицеводства в экологически чистых условиях;

- восстановление экологически чистой городской среды, обеспечение чистоты земельных и водных ресурсов, сокращение выбросов углекислого газа;

- использование ресурсов и отходов производства по проекту с целью получения вторичных продуктов (например, огнетушащих порошков специального назначения и др.).

Потребителями продукции могут быть агропромышленный комплекс, МинЧС, военно-промышленный и энергетический комплексы, а также муниципальная отрасль. Возможна розничная реализация продукции (для частного сектора). ОМК могут быть затребованы для рекультивации территорий бывших военных баз, индустриальных загрязнений и земель, загрязненных в результате бомбардировок (в том числе с применением слабообогащенного урана). Для «очистки» территорий по предполагаемой технологии нет необходимости в перемещении загрязненного грунта; при этом повышается урожайность и обеспечивается получение чистой продукции уже в сезон обработки грунта. В то же время по технологии международной фирмы Terra Humana, которая осуществляет работы по очистке загрязненного грунта путем его вывоза, промывки, высушивания и возвращения на поля (с 1 га необходимо вывезти до 700 т грунта), почва в результате оказывается «биологически неактивной» и требует обогащения черноземом. ОМК стимулируют интенсивное и быстрое развитие корневой системы растений, что чрезвычайно важно для освоения зоны пустынь, где растения, которые предлагается возделывать с применением спецтехнологии, получают возможность ускоренного закрепления в грунте. Изложенное выше позволяет практически реализовать возможность создания зеленых зон на

бесплодных территориях с полным самообеспечением экологически чистыми продуктами питания, восстановлением продуктивного земледелия и животноводства и производством альтернативных энергоносителей на основе переработки отходов сельскохозяйственного сырья, в том числе загрязненного.

По результатам многолетних работ МинЧС издало «Рекомендації щодо використання органо-мінеральної композиції для повернення радіаційно-забруднених територій у продуктивне землекористування» (1998 г.), хотя с тех пор ни одного шага не было сделано навстречу реализации столь необходимой Украине технологии. И далее отечественные специалисты унизительно игнорируются, что позволяет авантюристичным «грантоедам» своей безграмотной деятельностью снижать планку нашего научно-технического потенциала. Вот характерный материал от УНИАН (17.05.2007 г., почти через 10 лет после наших работ в зоне):

«Как очистить Чернобыльскую зону от радиации? В Житомирской области на загрязненной после аварии на Чернобыльской АЭС территории впервые в мире начат эксперимент по очистке почвы от цезия с помощью рапса... «Этот эксперимент начат в Народичском районе Житомирщины, проводят его совместно Ассоциация «Чернобыль-Тюбу» (Япония) и Житомирский агроэкологический университет», – сообщил В. Киричанский. Участок под эксперимент выбран в загрязненной радионуклидами зоне между отселенными селами Новое Шарное и Ноздрици. «После сева представители японской ассоциации пришли в ужас, когда прибор показал 300 микрорентген, при том, что нормой считается 30–40 микрорентген. Это – лишь фон, а содержание цезия сегодня составляет 5–8 кюри, то есть в 80 раз выше нормы. До аварии на ЧАЭС он был 0,1 кюри». Все работы финансируются японской стороной. Подробности на УНИАН: <http://www.unian.net/science/45895-kak-ochistit-chernobyilskuyu-zonu-ot-adiatsii.html>».

К этому можно лишь добавить, что рапс совершенно не является фитомелиорантом. Кроме того, через 20 лет после аварии не цезием загрязнены земли, а стронцием, америцием и др.

Планируется комплексное промышленное производство ОМК, ЦлР и порошков огнетушащих в качестве побочной продукции (см. рисунок) за счет очистки и корректировки промывных вод и их рециклинга. В схеме этого про-

изводства превалирует дух великого российского химика Д.И. Менделеева, который говорил: «Не бывает промышленных отходов – бывает плохо или не полностью переработанное сырье».

Переработка пыле-сажевых выбросов ТЭС

В процессе деятельности теплоэнергетических предприятий образуется огромное количество золошлаковых отходов (ЗШО), использование которых, в том числе сухой золы выноса с электрофильтров ТЭС, ограничено в связи с их токсичностью. Поэтому одна из наиболее актуальных проблем муниципальной экологии – переработка таких отходов. Это возможно путем выделения из состава золы как вредных, так и ценных компонентов и утилизации остаточной массы золы в строительной индустрии и в производстве удобрений. Мы предполагаем реализовать способ переработки ЗШО с использованием специально синтезируемого вида ЦлР. Наше предложение характеризуется тем, что технологический процесс основан на адсорбционном удалении токсичных катионов и их безопасном захоронении в микрокапсулированном состоянии, обеспечивается последующая утилизация продуктов переработки, а именно фракции, включающей макро- (традиционная обработка) и микроэлементы, удаленные благодаря сорбционной экстракции, которые могут быть использованы как компоненты производства ОМК.

Базальтоволоконистые материалы для очистки водной поверхности (Г.Е. Павлик и др., ИХП НАН Украины)

С целью решения важных народнохозяйственных задач рационального использования водных ресурсов был разработан эффективный материал для очистки доследовых количеств водной и твердой поверхности от нефтяных загрязнений на модифицированной базальтоволоконистой основе (нефтеемкость – 15–20 кг/кг, возможна многократная регенерация).



Собранные путем поглощения нефтепродукты можно использовать повторно. Число циклов в режиме сорбция – регенерация до 14. Предлагаемые технология и материал для очистки водной и твердой поверхности от нефтяных загрязнений относятся к физико-химическим, сорбционным способам очистки. Производство сорбирующего материала осуществляется из базальтового волокна и кремнийорганического гидрофобизатора. Технология включает стадии нанесения гидрофобизатора и термообработки базальтового волокна по безотходной технологии без участия воды в технологическом процессе. К преимуществам этого метода можно отнести возможность удаления загрязнений любой углеводородной природы практически до любой остаточной концентрации, управляемость процессом, быстроту воздействия, а также возможность сбора горящей нефти.

Аэробно-кавитационная переработка муниципальных вод (В.Н. Солодов, ЗАО «ЭкоТор»)

На действующих в большинстве современных городов комплексах очистных сооружений предусматривают биологическую очистку сточных вод. Исторически сложилось так, что существующие комплексы по своим проектным параметрам физически не могут обеспечить качество очищенной воды на уровне современных требований сброса в хозяйственные водоемы, так как строились в 60–70-е годы, когда нормальной очисткой сточной воды считалось 15–20 мг/л по БПКп и взвешенным веществам. Поэтому предлагаются новые методы очистки сточных вод, обработки иловых осадков с учетом полной утилизации твердой и жидкой фазы. В основе предлагаемых технических решений лежит метод аэробно-кавитационного воздействия на очищаемый сток, что позволяет принципиально изменить биохимические процессы в биоценозе активного ила и значительно повысить окислительную способность сооружений, протекающую при очистке сточных вод и обработке иловых осадков.

Интенсивное насыщение кислородом иловой смеси пролонгирует окислительные процессы и действует на избыточную биомассу, которая при традиционном биохимическом процессе образует весомый отход, а при очистке сточных вод предлагаемым методом минимизируется количество отходов с получением ферментно-активного субстрата. Благодаря постоянно поддерживаемой высокой концентрации растворенного кислорода (18–20 мг/л) и кавитационному воз-

действию успешно решаются проблемы изъятия биогенных веществ из сточной воды путем перевода их в твердую фазу. Кроме того, комплексное химико-физическое воздействие на очищаемую сточную воду позволяет избавиться от патогенной и паразитарной флоры за счет высокой концентрации растворенного кислорода и использования режима кавитации низкой интенсивности (схлопывание пузырьков воздуха в воде). При этом центры кавитации образуются на крупных микроорганизмах, яйцах гельминтов и самих паразитах, которые, в силу своих размеров, являются ядрами кавитации, что приводит к разрыву их оболочек и уничтожению. Указанная технология очистки водных потоков является органической частью предлагаемого комплексного проекта и призвана обеспечить рациональное использование, очистку и, при необходимости, консервацию водных ресурсов.

Гелиоветерии – альтернатива самообеспечения на загрязненных и неплодородных территориях (А.А. Иванько, акад. Международной академии экологии)

Наши достижения в области разработки и создания новых материалов и технологий экологической направленности подготовили базу для реализации идеи создания полностью замкнутой безотходной схемы автономной жизнедеятельности (в том числе в условиях территориальной изоляции). Практическое воплощение идеи экопоселения создает возможности внедрения концепции гелиоветерии, обеспечивающего круглогодичное энергоавтономное выращивание биоактивных продуктов оздоровительного питания с минимальной себестоимостью. Разработанные системы жизнеобеспечения гелиотеплиц дают возможность повысить урожай овощей до 60 кг/м²; до –10 0С не использовать отопления, а при сильных морозах возможно лишь частичное резервное отопление сертифицированными котлами на любых горючих отходах; экономить до 75% поливной воды и на 50–75% обеспечивать теплицы азотом и фосфором; до 2–3 лет не удобрять грунт и др.

Субстратом для вегетарии является один из видов ОМК, разработанной для бесплодных грунтов и снабженной влагоудерживающим компонентом. В жарком климате (40–50°С) такой гелиоветерий выполняет функции «антитеплицы» (температура в функциональных помещениях – 26–28°С). Гелиотеплицы являются автономными, самодостаточными сооружениями, позволяющими получать 3–5 урожаев

(в зависимости от длительности вегетации определенных культур) в год. Для реализации технологий капельного орошения в теплицах может быть предложено получение воды из воздуха, не требующее энергетических затрат.

Актуальность таких поселений возрастает в эпоху «глобального изменения климата», когда становится очевидной необходимость перехода от горизонтального к вертикальному агропроизводству, что позволяет рекультивировать и консервировать земельные площади, таким образом нормализуя альбедо, и обеспечить продуктами питания большую часть населения Земли. Идея экопоселений более привлекательна для пустынных территорий, где существует хозяйственная деятельность, хотя население и не локализовано.

Заключение. Программа, которая может быть предложена, включает несколько взаимосвязанных направлений и условно подразделяется на затратную часть (производство сорбентов и композиций) и доходную часть (с получением коммерчески значимых продуктов), что так или иначе связано с реабилитацией и рекультивацией загрязненных и бесплодных (в том числе пустынных) территорий и в то же время является деятельностью экологической направленности. Ожидаемые результаты реализации этого проекта в укрупненных масштабах:

- возвращение загрязненных (тяжелыми катионами, радионуклидами) и нарушенных

территорий, в том числе военных и нефтебаз, в продуктивное хозяйствование;

- возможность вертикального экологически чистого агропроизводства, рекультивация и консервация земельных угодий и водных ресурсов в пользу будущих поколений людей;

- озеленение и восстановление хозяйствования на бесплодных и пустынных территориях, восстановление животноводства и птицеводства в экологически чистых условиях;

- восстановление экологически чистой муниципальной среды, обеспечение чистоты земельных и водных ресурсов, сокращение выбросов парниковых газов;

- использование ресурсов и отходов производства по проекту с целью получения вторичных продуктов (в том числе огнетушащих порошковых составов спецназначения).

Рассмотренные выше направления деятельности основаны на широком и квалифицированном использовании неисчерпаемых минеральных запасов планеты и имеют эколого-экономическую значимость, поскольку преследуют не только возможность противопоставления негативным последствиям техногенной деятельности, но и в значительной степени решение продовольственной проблемы (в частности, в развивающихся странах). **Дополнительная особенность такого подхода – предотвращение массовой миграции населения из экологических бедствий!**

Список литературы:

1. Ситник К., Багнюк В. Біосфера і клімат: минуле, сьогодення і майбутнє // Вісник НАН України. – 2006. – № 9. – С. 3–20.
2. Sobolev W., Iljin V., Barany S., Nizhko V., Tkachenko V. Some results of using Zeolite-based composites for treatment of soils polluted by radionuclides // Proceedings of the 3-rd International Conference on Carpathian Euroregion Ecology “CERECO’2000”, Miskolc – Lillafured, Hungary. – 2000 May, 21–24. – P. 224–230.
3. Грунтова композиція для техногенно забруднених і неплодних ґрунтів пустельних територій. – Патент України № 99999 від 2012, 25.10. Бюл. № 20 // Соколов В., Корбут Н., Котляренко В.

ДО ПРОЕКТУ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОЇ ТА БЕЗПЕЧНОЇ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ НА БЕЗПЛОДНИХ І ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ

У статті висвітлюється вирішення сучасних екологічних проблем (у тому числі завдань рекультивативної та реабілітації земельних ресурсів) шляхом практичного застосування органомінеральних композицій (ОМК) і вибіркового сорбентів (ЦЛР) на основі модифікованих природних цеолітовміщуючих та інших матеріалів з метою підвищення якості життя населення в екологічно неблагополучних регіонах.

Ключові слова: забруднення техногенні, важкі катіони, ремедіація, агровиробництво вертикальне, геліоветатарій, матеріали базальтоволокнисті.

**TO THE PROJECT OF ECOLOGICALLY CLEAN
AND SAFE VITAL ACTIVITY ON BARREN AND POLLUTED TERRITORIES**

Decision of modern ecological problems, including tasks of recultivation and rehabilitation of the land resources, by practical application of organo-mineral composites (OMC) and selective sorbents (ZlP) on the basis of modified natural Zeolite-containing and other materials, for the improvement of life quality of population, in particular in ecologically unhappy regions.

Key words: *technogenic contaminations, heavy cations, rehabilitation of soil, vertical agriculture, heliovegetarium, bazzalt-fibrous materials.*

УДК 60:502:54.05

Соболев В.О.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ПРО МОЖЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПОРОШКОВИХ ЗАСОБІВ ВОГНЕГАСІННЯ ТА ВИБУХОПОПЕРЕДЖЕННЯ

Обґрунтований теоретично та експериментально підхід до створення інгібіторів горіння шляхом кваліфікованого управління властивостями поверхні і структурними особливостями високодисперсних частинок неорганічних солей і адсорбентів. Описано результати випробувань вогнегасних порошків, які не мають аналогів, можливості їх виробництва.

Ключові слова: інгібітори горіння, порошки вогнегасні, активні центри, коефіцієнти рекомбінації, границі спалахування.

Вступ. Незважаючи на негативну дію на здоров'я людей хімічних забруднювачів та радіонуклідів, а також техногенні аварії і природні катаклізми, що збільшилися останніми роками, відповідальні за їх профілактику відомства часто виявляються невідповідними до протидії цим подіям або до ліквідації наслідків їхньої негативної дії на довкілля і здоров'я населення. Як правило, результатом бувають багатомільйонні (та навіть багатомільярдні, як, наприклад, у Чорнобилі, Запоріжжі) втрати у народному господарстві, загибель людей або значне погіршення їхнього здоров'я (в тому числі за не завжди виявленими обставинами). Водночас в епоху нових технологій не вдається чітко прогнозувати технологічні, соціальні та екологічні ризики, тому існує невідкладна необхідність у створенні аварійних резервів спеціалізованих матеріалів (для ліквідації наслідків екстремальних ситуацій) та засобів їх доставки до місця події. Практичні дії в цьому напрямі неможливі без наявності сучасної бази технічних і хімічних засобів придушення горіння та вибухопопередження.

Раніше автор цієї статті зі співробітниками значну увагу приділяв питанням створення високо-ефективних порошкових засобів пожежогасіння, у зв'язку з чим на основі результатів вивчення механізмів взаємодії низки неорганічних речовин із полум'ям було сформульоване конструктивне рішення, яке базується не на регулюванні хімічного складу композицій, а на цілеспрямованому управлінні властивостями та структурними особливостями частинок, що їх складають (про це див. в [1]), завдяки чому воно було відмінне від уявлень, загальноприйнятих у цій галузі. Досягнення того періоду не відповідали інтелектуальному рівню відповідальних фахівців і керівництва

протипожежного відомства тоді ще залежної та в початковий період вже незалежної України, і за зрозумілими причинами дослідження були перервані. Але із часом офіційна версія робіт, що проводилися в цьому напрямі, виявилася неспроможною (як і попереджав автор цієї статті) і практично призвела до руйнування галузі (*задаймося питанням, що будуть робити наші фахівці, якщо знов вибухне якийсь Чорнобиль; коротку відповідь дала непрофесійна «боротьба» з палаючою нафтобазою під Києвом*). До цього часу (пройшло понад 15 років після завершення автором циклу відповідних робіт) відсутні принципово нові пропозиції щодо підвищення інгібуючих властивостей неорганічних речовин – активної основи вогнегасних порошків (ВП), які, як визнано вже багато років, значно ефективніші за традиційні водопінні та газоподібні засоби. Резервом, що створює можливість підвищення їх вогнегасної ефективності і розширює сферу застосування, є підвищення дисперсності, використання спеціальних домішок, кваліфіковане управління структурними особливостями і будовою функціональних фрагментів на поверхні частинок активної основи ВП.

Цією статтею автор намагається нагадати про ранні роботи, результати яких і сьогодні актуальні і перспективні для відновлення виробництва порошкових засобів пожежогасіння, в тому числі спеціального призначення (автор має надію на таку можливість).

Критичний опис існуючого стану, підхід автора та мета роботи

Нагадаємо, що роль порошків неорганічних солей в інгібуванні реакцій горіння (ІРГ) не викликає сумнівів, а з позицій науково обґрунтованого прогнозування властивостей і конструювання інгібіторів горіння (ІГ) важлива роль нале-

жить дослідженням, що свідчать про домінуючий вклад гетерогенної загибелі активних центрів (АЦ), відповідальних за розгалуженість і продовження ланцюгових реакцій, хоч існують уяви про можливість гетерогенно-гомогенного механізму ІРГ [2; 3].

На основі наявного експериментального матеріалу важко знайти чіткі закономірності, які визначають залежність активності галогенідів лужних металів (ГЛМ) у процесах інгібування від їх електронної будови (на відміну, наприклад, від оксидних каталізаторів, для яких було знайдено закономірності прогнозування каталітичної активності залежно від положення елементів у Періодичній таблиці). Тим не менше, можливі деякі висновки із залежності коефіцієнтів рекомбінації атомів О (γ_0) на поверхні лужних галогенідів від іонних радіусів елементів.

Так, очевидно, що в області низьких температур солі з більш високим електронним спорідненням катіонів (Rb^+ , Cs^+) характеризуються меншою активністю; при цьому практично не існує певної залежності від радіусу аніона.

За підвищення температури інгібуюча здатність ГЛМ зростає, а залежність γ_0 від радіусу аніона виявляє «стрибок» активності хлориду та фториду рубідію, тоді як аналогічна залежність для бромідів і йодидів лужних металів характеризується тенденцією до зниження в ряду від Li до Cs.

Із зіставлення довідникових даних про фізико-хімічні характеристики солей випливає, що в ряду ГЛМ із кубічною сингонією найбільш ефективні RbCl і CsCl, для яких в інтервалі 400-500°C характерні $\alpha \rightarrow \beta$ -перетворення.

Перебудові гранецентрованої решітки (типу NaCl) в об'ємноцентровану (типу CsCl), яка при цьому відбувається, відповідає проміжний стан із координаційною ненасиченістю іонних зв'язків (зміна КЧ до 8), тобто стан максимальної активності солі. Тому значення γ_0 для RbCl і CsCl за підвищення температури зростають швидше, ніж для KCl і NaCl, хоча за низьких температур їх γ_0 співрозмірні, а протікання адсорбції зумовлено наявністю природної шерехатості кристалічних граней. Відомі своїми вогнегасними властивостями бікарбонати й оксалати лужних металів характеризуються низькими значеннями γ_0 (0,0002 за 27°C) і, на відміну від моноклінних кристалів $NaHCO_3$ і $Na_2C_2O_4 \cdot H_2O$, в інтервалі 250-600°C зазнають поліморфних перетворень з утворенням гексагональної кристалічної структури. Відомо [4], що Na_2CO_3 за ІРГ метану більш ефективний, ніж $NaHCO_3$ та $Na_2C_2O_4$. Але ефективність останніх, що спостерігається на

практиці, мабуть, зумовлена тим, що CO_2 , який виділяється під час розкладу цих солей, частково зменшує температуру в мікрооб'ємах, які зайняті твердими частинками, що сприяє підвищенню швидкості гетерогенної рекомбінації на поверхні частинок карбонату, які утворюються.

У комплексі фізико-хімічних властивостей поверхні неорганічних солей визначальна роль належить дефектам їх кристалічної структури (ефективність ІРГ зростає зі зниженням енергії утворення вакансій, наприклад, антифренкелевських дефектів, пов'язаних із наявністю міжвузлових просторів у решітці CaF_2). Очевидно, цим можливо пояснити високі значення γ_0 і значне підвищення нижньої границі спалахування (P_1) горючих газів у присутності частинок CaF_2 та BaF_2 [4].

Таким чином, ефективними ІГ є неорганічні солі, що здатні до поліморфних перетворень за помірних температур і мають дефекти кристалічної структури у кількості, яка забезпечує ефективне захоплення АЦ твердою поверхнею, в тому числі хлориди і фториди Rb, Cs, Ca і Ba. Але застосування таких досить дефіцитних солей у практичних цілях безперспективне, і варто вважати, що альтернативним шляхом підвищення ефективності ІГ була б організація локальних порушень кристалічної структури частинок загальнозастосовуваних солей, що викликають утворення координаційно-ненасичених іонних зв'язків. Можливості механоактивації при цьому обмежені типом солей, що використовуються, або незначним часом життя активних центрів, які виникають на ювенільній поверхні, що зумовлене отруєнням молекулярними фрагментами зі складу навколишнього середовища. Водночас нами була встановлена можливість проникнення домішок і утворення дефектів у кристалічному шарі завдяки сокристалізації речовин різних структурних типів, що дає змогу значно підвищити ефективність гетерогенної загибелі атомів О і Н (наприклад, у разі сокристалізованої системи KCl – $KHCO_3$ величина γ_0 за 230°C становить $1,1 \times 10^{-2}$, а для чистого KCl – $0,11 \times 10^{-2}$; при цьому в 4–5 разів зростають значення 1-ої границі спалахування P_1 [5]).

Імовірність захоплення АЦ із газової фази твердою поверхнею повинна також збільшуватися з її зростанням, однак гігроскопічність солей обмежує можливості їх отримання у високодисперсному стані. Водночас використання процесів плазмового диспергування дало нам змогу отримати ультрадисперсні солі з розмірами первинних частинок 10^{-6} – 10^{-8} м, які є оптимальними з урахуванням швидкості їх осадження у газовій

фазі. Критичні витрати ультрадисперсного КСІ в об'ємних умовах становлять $10\text{--}20 \text{ г} \times \text{м}^{-3}$, а за наявності легуючих домішок (CaF_2) зменшуються до $57 \text{ г} \times \text{м}^{-3}$. У результаті проведення випробувань отриманих порошків під час об'ємного гасіння вуглеводнів ми встановили, що оптимальна кількість домішки CaF_2 до складу на основі КСІ (в технологічному процесі отримання) знаходиться в інтервалі $10\text{--}15 \text{ мас. \%}$. Ультрадисперсні галогеніди лужних металів у $6\text{--}8$ разів ефективніші за серійні ВП під час об'ємного гасіння вуглеводневого полум'я імпульсним методом.

Наявність активної поверхні сприяє протіканню радикало-рекомбінаційних процесів, і згідно із квантово-хімічними розрахунками реакції атомів і радикалів із газової фази енергетично вигідні з партнерами, адсорбованими на твердій поверхні. Роль таких партнерів можуть виконувати гідроксильні групи, напружені зв'язки, координаційно ненасичені атоми на поверхні, наприклад, оксидних адсорбентів. Так, використання аморфних ортофосфатів металів, синтезованих нами методом рідкофазного хімічного заміщення, дало змогу досягнути $\gamma_0 = 2,0 \times 10^{-2}$ і значного підвищення РІ сумішшю $2 \text{ CO} + \text{O}_2 + 1\% \text{ H}_2$ та $2 \text{ H}_2 + \text{O}_2$. Перевагою адсорбентів є наявність внутрішньої та зовнішньої поверхні, яка зв'язує молекулярні сполуки, за рахунок утворення хімічних зв'язків у рідкій і газовій фазах. Завдяки цьому досягається зниження ступеня пароутворення горючої рідини й ефективності фрагментації її молекул у передполум'яній зоні, що відбивається на генерації активних центрів горіння. Розвинута пориста структура адсорбентів може бути використана і як носій оптимальної кількості інгібуючих компонентів.

На прикладі аморфних ортофосфатів металів нами показана роль адсорбційного фактору у процесах гетерогенної загибелі активних центрів на додаток до ударного механізму інгібування, притаманного неорганічним солям. Значення отриманих результатів у тому, що спільно з даними про роль структурних особливостей неорганічних речовин вони свідчать про можливість створення вибіркового ІГ. Перспективи в цьому сенсі належать також катіонзаміщеним формам цеолітів, сорбційний об'єм яких, природа та концентрація обмінних катіонів регулюються; не менш перспективним є проведене нами утворення пористих солей з наявністю «пасток» атомарних і радикальних частинок (обґрунтування методики синтезу див. у [6]). Під час їх використання, як і цеолітів з високою концентрацією катіонів в об'ємі пор,

варто чекати переходу гетерогенної рекомбінації в область дифузії.

Викладене свідчить про можливість підвищення інгібуючої властивості неорганічних речовин завдяки регулюванню їх структурних характеристик. На основі підходу, що описаний нами, було отримано низку ВП, які були випробувані ще у 1984–95 рр. (в тому числі на базі ММЗ «Опыт», Москва). Нижче коротко охарактеризовані властивості створених інгібіторів горіння і деякі особливості їх застосування.

Нові інгібітори і вогнегасні композиції

Ультрадисперсні інгібітори горіння (ВП для об'ємного пожежогасіння) отримані методом диспергування в умовах низькотемпературної плазми ($800\text{--}1500^\circ\text{C}$) із звичайного КСІ, але з легуючими домішками CaF_2 (така технологія дає змогу створювати серію ультрадисперсних матеріалів – карбіди, бориди, нітриди титану, кремнію та ін.). Агломерати частинок ($1\text{--}3 \text{ мкм}$) за імпульсної дії руйнуються на $10^3\text{--}10^4$ первинних частинок з розмірами $50\text{--}100 \text{ \AA}$ (рис. 1), що на порядок підвищує ефективність об'ємного гасіння і флегматизації. Була встановлена можливість заміни фреонів під час захисту двигунних відсіків у літаках без технічного переоснащення авіаційної галузі. Такі ВП не мають аналогів.

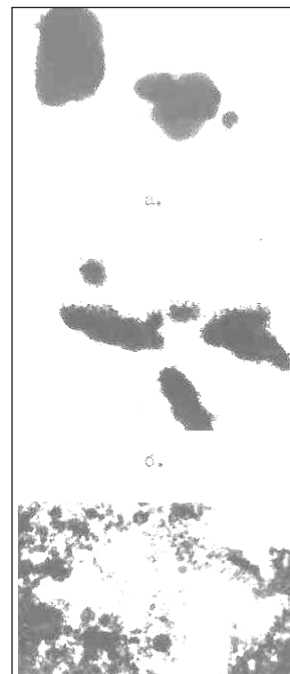


Рис. 1. Електронно-мікроскопічні знімки зразків хлориду кальцію:

а – після подібнення у вібромліні ($\times 10 \text{ тис.}$); б – агрегати частинок зразка, отриманого методом плазмового диспергування ($\times 17 \text{ тис.}$); в – мікрочастинки після руйнування агрегату ($\times 18 \text{ тис.}$)

З метою аналізу ефективності дії порошкових частинок на полум'я в об'ємних умовах проведено розрахунок відстані L між частинками за критичних концентрацій за методикою [7]. Як випливає з розрахункових даних, умові протікання гетерогенної рекомбінації в кінетичній області $\gamma L / l \ll 1$ (де $l \approx 2 \times 10^{-4}$ см – довжина вільного пробігу атомарних частинок) відповідає ультрадисперсний КСІ, відстань між частинками якого в зоні горіння на 2 порядки менша, ніж для звичайних неорганічних солей. Кінетичний режим рекомбінації в цьому разі зумовлений тим, що найменші частинки КСІ ($1-5 \times 10^{-6}$ см) практично не обмежують швидкість дифузійного потоку активних центрів до поверхні частинок, тоді як із підвищенням їх розмірів зростає товщина дифузійного шару навкруги частинок, а процес гетерогенної загибелі переходить у дифузійну область. Очевидно, що інгібуюча дія ультрадисперсного КСІ на горіння метано-повітряної суміші зумовлена гетерогенною загибеллю активних центрів завдяки їх захопленню поверхнею крихітних частинок без впливу інших факторів дії. Водночас значення $\gamma L / l \gg 1$ у разі інших розроблених нами композицій (що термодиспергуються та на основі аморфного ортофосфату) свідчать про протікання процесу гетерогенної рекомбінації в дифузійній області та про більш складний механізм гетерогенної загибелі. Дійсно, значна розрахована величина $\gamma L / l$ у разі композиції КСІ – $(\text{NH}_4)_2 \text{C}_2\text{O}_4$ (ядро), згідно із висновками [7], зумовлена розтріскуванням вихідних частинок у температурних умовах. Поверхня частинок, що при цьому деформується, окрім адсорбційного вкладу в процес гетерогенної рекомбінації (зростання γ_0), накладає певні обмеження на швидкість дифузійного потоку. Аналогічне явище у разі аморфного ортофосфату алюмінію (із включенням частинок КСІ колоїдних розмірів) зумовлене розгалуженою будовою каркасу його частинок.

Дія ВП на полум'яну зону в об'ємних умовах визначається хімічним складом порошків. Так, згідно з експериментальними спостереженнями автора в стендових умовах ВП на бікарбонатній основі при докритичних концентраціях викликає звуження конусу полум'я вуглеводнів за рахунок часткового розбавлення CO_2 , що виділяється під час розкладу солі, з подальшим інгібуванням горіння в реакційній зоні на поверхні частинок карбонату, які в неї проникають. В аналогічних умовах частинки ВП на основі фосфорно-амонійних солей, які втрачають кінетичну енергію за наближення до зони горіння (за рахунок інтен-

сивного розкладу із суттєвою втратою маси), через зону підготовки затягуються в зону горіння і завдяки частковому охолодженню за рахунок фізико-хімічних перетворень сприяють відриву полум'я від поверхні горючої рідини. При цьому полум'я «зависає» та існує до повного вигорання кисню, що свідчить про відсутність гомогенного фактору інгібування горіння такими солями і підтверджує дані про вкрай низьку ефективність гетерогенної рекомбінації на їх поверхні ($\gamma_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ при 27°C [4]). Водночас ВП на галогенідній основі не впливає на видиму структуру полум'я, а за досягнення критичної концентрації частинок у порошковій хмарі здійснюється миттєва зупинка горіння завдяки гетерогенній загибелі активних центрів полум'я на поверхні частинок (γ_0 на поверхні частинок КСІ становить 0,058 при 727°C [4]).

Аморфні ортофосфати металів із включенням сольових компонентів у пористу структуру частинок (метод рідкофазного синтезу й осадження з подальшим висушуванням і тонким диспергуванням). Оксидна структура і розвинута активна поверхня частинок забезпечили додаткові переваги для взаємодії (під час пожежогасіння) з кремній- та елементоорганічними рідинами, а саме з компонентами ракетних палив та з деякими твердими пірофорними речовинами. При цьому повністю виключалося повторне самозаймання після гасіння. Були проведені випробування для низки органохлор- і гідридсиланів, для металоорганіки з результатами, які неможливо досягнути за використання традиційних ВП. Для речовин, що не підлягають гасінню (ТМХС), був застосований комплексний метод – зниження температури вогнища піноутворюючою сумішшю з подальшим уприскуванням струменя ВП у полум'яну зону під екрануючою «подушкою». Аналіз утворених шлаків свідчить про взаємодію продукту з ВП. Однак не всі розроблені композиції показали прийнятну ефективність гасіння (тобто варто притримуватися принципу кваліфікованого конструювання складу вогнегасного засобу). Наприклад, під час гасіння пірофорних матеріалів на тканинній основі з усіх випробуваних речовин і традиційних ВП та інших матеріалів винятково ефективним виявився лише ВП на основі ортофосфату міді зі включенням сульфату амонію: гасіння відбулося при незначних витратах порошку після досягнення адгезії його частинок поверхнею тканини.

Особливості придушення процесів горіння низки продуктів потребують застосування як основи вогнегасних порошків, високодисперсних матеріалів з активною сорбційною поверхнею,

яка хімічно зв'язує леткі компоненти горючих речовин і, таким чином, приймає участь в обриві ланцюгів горіння (окрім інших факторів дії на полум'я). ІЧ-спектри поглинання, що наведені на рис. 2, свідчать про високу реакційну здатність поверхні частинок алюмофосфату.

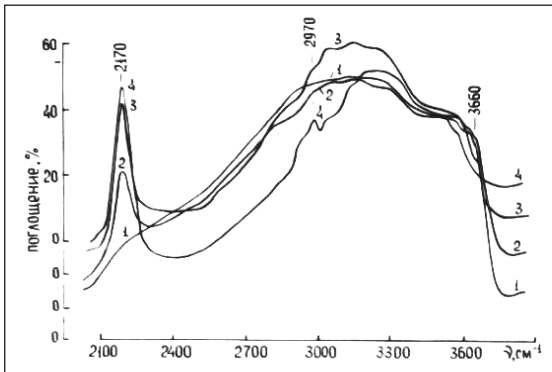


Рис. 2. ІЧ-спектри поглинання поверхні алюмофосфату:

1 – дегідратація при 100°C на протязі 4 год.; 2 – взаємодія з парами метилгідриддихлорсилану при 2–100, 3–200, 4300°C

Використаний метод рідкофазного синтезу відкриває можливості утворення вибіркового інгібіторів із властивостями, що регулюються, завдяки чому нами були отримані аморфні ортофосфати алюмінію, міді та кобальту, які вміщували у своїй структурі відповідні кількості сольових компонентів з добре відомими інгібуючими властивостями. Вміст останніх регулюється, що важливо у зв'язку з тим, що за час утримування частинок ВП у полум'яній зоні лише 10–20% їх маси приймає участь у процесах інгібування (знайдений за площею під піком плавлення хлориду калію на термограмі алюмофосфату зі включенням KCl у свою структуру вміст інгібуючого компоненту не менше 20 мас. %). Інгібуючі властивості отриманих ортофосфатів характеризуються доволі висо-

кими значеннями γ_0 (табл. 1) і нижніх границь запалювання (рис. 3). Як впливає, окрім інгібуючого вкладу саме неорганічних компонентів, важливу роль відіграє реакційно здатна поверхня ортофосфату, яка в статичних умовах проведених вимірювань сприяє протіканню рекомбінації за адсорбційним механізмом та забезпечує високу ефективність інгібування полум'я.

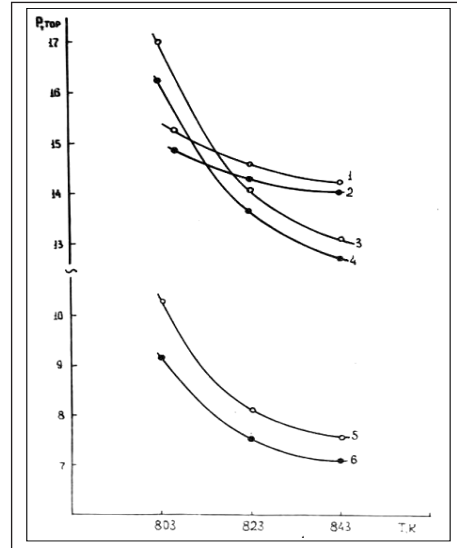


Рис. 3. Температурна залежність нижніх границь самозапалення сумішей $2\text{CO} + \text{O}_2 + 1\% \text{H}_2$ (1, 3, 5) та $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ (2, 4, 6) у присутності частинок ортофосфату міді зі включенням K_2SO_4 (1, 2) і $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (3, 4), а також суміші глинистого мінералу з диамонійфосфатом (5, 6)

Сольові композиції, що термодиспергуються (з частинками сандвічевої структури: навкруги ядра із солі одного типу утворюється кристалічна оболонка солі іншого типу) – у конструювання таких матеріалів закладено принцип забезпечення умов інтенсивного дефектоутворення під час нагрівання до 200–300°C. Хоча такі речовини і створені для процесів «негативного каталізу»

Таблиця 1

Значення γ_0 на поверхні аморфних ортофосфатів і критичні концентрації порошків W_c під час гасіння 10-відсоткової метан-повітряної суміші

Поверхня ортофосфату:	Температура, °C	$\gamma_0 \times 10^2$	$W_c, \text{г х л}^{-1}$
Алюмінію зі включенням KCl	66	2,010	0,024
Алюмінію зі включенням NH_4Cl	52	0,159	
Алюмінію зі включенням $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ і $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	35	0,564	0,095
Кобальту зі включенням KCl	51	0,191	
Міді зі включенням $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	26	0,357	0,052
Міді зі включенням K_2SO_4	45	0,980	
KCl	27	0,114	
K_2SO_4	27	0,012	
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	27	0,02	

(яким є інгібування горіння), але сам по собі закладений в них принцип відкриває можливості для проведення регульованих каталітичних процесів (чи не стане за таким методом можливим регульовано вводити в дію активні центри каталізаторів за визначених температурних умов і тисків?). Такі матеріали грубодисперсні, але не утворюють грудок і не злипаються.

Моделлю таких речовин є кристалічні капсули, в об'ємі яких знаходяться солі, що за помірних температур піддаються розкладу або випаровуванню, в результаті чого зростає внутрішній тиск, що спричиняє руйнування кристалічних оболонок. Активна поверхня частинок, що при цьому утворюється, ефективно приймає участь у гетерогенній рекомбінації частинок полум'я, а газові компоненти, які виділяються, приймають участь у газофазних процесах, відіграючи роль розріджуючих або інгібуючих агентів. З метою отримання таких кристалічних речовин нами було обрано спосіб кристалізації з розчину, за якого на поверхні частинок (з розмірами 10–20 мкм) речовини, яка виконувала роль затравки і мала порівняно низьку температуру розкладу, контролювано нарощується шар галогеніду лужного металу 5–15 мкм (можливо, не суцільний шар).

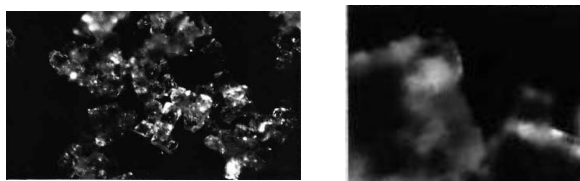


Рис. 4. Сокристалізовані системи: зліва $\text{KHSO}_3 + \text{KCl}$ (6 год. х 224) і справа $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{KCl}$ (6 год. х 128)

Із залежності 1-ої границі спалахування суміші ($2\text{H}_2 + \text{O}_2$) в присутності частинок порошку типу KCl (оболонка) – KHSO_3 (ядро) впливає, що обрив ланцюгів горіння відбувається в дифузійній області, що свідчить про високу активність поверхні частинок. Аналогічний результат отримано у разі спалахування суміші ($2\text{CO} + \text{O}_2 + 1\% \text{H}_2$); коефіцієнт рекомбінації атомів O за температури близько 500°C близький до 1. При цьому особливості інгібування визначаються властивостями речовини ядра. Наприклад, обрив ланцюгів на поверхні порошоків типу $\text{KCl} - \text{H}_3\text{BO}_3$ і $\text{KCl} - \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (KCl – оболонка) відбувається в кінетичній області, або в області, яка не лімітується дифузиею; такі порошки суттєвою ефективністю рекомбінації не відзначаються. Це пояснюється тим, що речовини ядра (H_3BO_3 і $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) плав-

ляться в дослідженому температурному діапазоні, в якому не відбувається розтріскування зовнішньої оболонки. Що стосується інших порошоків, то підвищення 1-ої границі за зростання температури пояснюється якісною зміною поверхні, яка приводить до збільшення швидкості рекомбінації. Наприклад, на поверхні частинок зразків типу $\text{KCl} - \text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ та $\text{KCl} - (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ спостерігається екстремальна залежність P_1 від температури.

Із наведених у табл. 2 даних очевидна наявність певної кореляції між γ_0 і значеннями критичної концентрації W_c деяких композицій під час придушення горіння метано-повітряної суміші (слід враховувати різницю хімічного складу композицій і характеру їхньої дії). Можливість різкого зростання кількості активних центрів на поверхні частинок у полум'яній зоні підвищує вклад адсорбційної стадії в загальний механізм гетерогенної загибелі активних центрів горіння, що відбивається в значному зростанні 1-ої границі спалахування.

Таблиця 2

Інгібуючі властивості модельних композицій (під час придушення горіння суміші 10% CH_4 – повітря)

Склад композиції	$\gamma_0 \times 10^2$	$W_c, \text{г х л}^{-1}$
RbCl (оболонка) – H_3BO_3 (ядро)	0,2	0,019
RbCl (оболонка) – $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ (ядро)	0,27	0,028
RbCl (оболонка) – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (ядро)	0,39	0,040
KCl (оболонка) – $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ (ядро)	1,17	0,001

Оскільки вогнегасні композиції, незалежно від призначення, повинні відзначатися комплексом властивостей, ми розробили підходи, здатні удосконалити склад ВП і розширити сферу їх спеціального застосування.

На основі моделі синтетичних цеолітів були розроблені **цеолітовміщуючі і «металізовані» (кобальтом, міддю, кадмієм та ін.) інгібітори горіння** бідних та багатих водень – кисневих і метан – кисневих сумішей. Для них встановлено підвищення на 1–2 порядки ефективності рекомбінації атомів водню (всі інші ВП «нейтральні» до H^+ , забезпечуючи обрив ланцюгів горіння лише по кисневміщуючих фрагментах). Мета цієї розробки – вибухопередження в об'ємах із натіканням водню. З аналогічною метою були створені **«пастки» атомарних частинок на основі пористих солей** (фториди Ca і Mg), які мають

багаточисельні пори з високою концентрацією катіонів, що вступають у вибірккову взаємодію з атомами водню.

«Комплект» розроблених інгібуючих неорганічних речовин буде неповним, якщо не створити композиції, що терморегулюються. Питання полягає в тому, що чим нижча температура розкладу, випаровування, розщеплення та ін. речовини, тим ефективніша вона як компонент або активна основа ВП. Як було показано вище, найбільш ефективні інгібітори горіння характерні фазовими переходами (за яких вони найбільш активні) в зоні високих температур (вище 1000°C), а в реальній полум'яній зоні частинки не встигають до них навіть нагрітися. У зв'язку з цим доцільне створення *неорганічних евтектичних сумішей*, які би характеризувались низькотемпературним зміщенням фазових переходів на $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$. Застосування таких матеріалів дасть змогу одночасно підвищити ефективність тепловідведення із зони горіння. У результаті буде отриманий відсутній термічний компонент до складу ВП, дуже важливий саме в боротьбі з загоряннями і пожежами порівняно тугоплавких матеріалів, в тому числі на атомних електростанціях.

На фоні відзначених розробок доцільне створення і нового (за сировинними компонентами) *порошку загального призначення*, склад якого може бути вдосконалений або збагачений вищеписаними компонентами згідно з призначенням. Такий склад ВП ми пропонуємо створити на основі продуктів регенерації та утилізації у виробництві селективних цеолітовміщуючих сорбентів і відходів переробки гірничо-збагачувального виробництва із застосуванням акустично-вихрової технології. У результаті може бути отримана фосфатовміщуюча сіль як активний компонент ВП масового застосування. Обов'язковою умовою виконання робіт є розроблення *способу механохімічного модифікування матеріалів у вихровому полі*, задля чого планується конструювання і монтаж системи газофазного модифікування, спряженої з акустично-вихровим млином.

Підвищення ефективності вогнегасних засобів можна досягти не тільки за допомогою нових інгібіторів (або їх домішок), але й оптимізацією умов їх застосування, що визначаються нормативними параметрами, – інтенсивністю подачі порошку, часом гасіння і питомою витратою ВП. Представляється, проте, що недостатньо уваги приділялося доцільності узгодження параметрів вогнегасних засобів, які застосовуються, з характеристиками горіння. Так, на основі результатів

дослідження ефективності вогнегасних порошків в об'ємних умовах очевидно, що за пневматичної подачі залежність об'ємної концентрації ВП від їх дисперсності характеризується нахилом, який визначається хімічними властивостями порошків (рис. 5).

Під час імпульсної подачі аналогічних ВП їх витрати на гасіння зменшуються приблизно в 3 рази, а різниця в хімічних властивостях і механізмі дії згладжується і стає малопомітною з підвищенням дисперсності, що свідчить про вплив швидкості надходження твердих частинок у зону горіння на ефективність інгібування (і на вогнегасну здатність) та визначає необхідність оптимізації умов застосування і доставки ВП відповідно до характеристик горіння і об'ємів, що підлягають захисту.

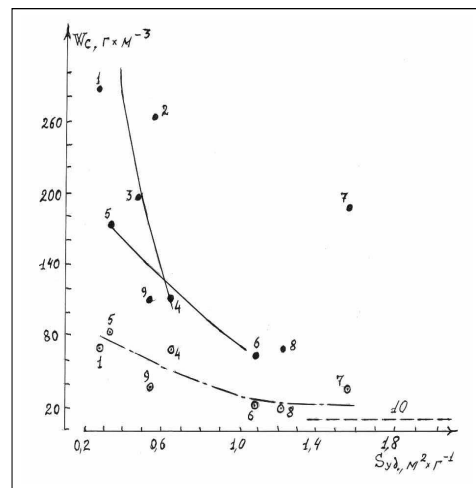


Рис. 5. Залежність критичної концентрації W_c ВП різного хімічного складу композиції від дисперсності ($S_{\text{дт}}$) і способу подачі: пневматична та імпульсна подача

Використані ВП: на фосфорно-амонійній основі – ПФ (1), П2АП (2), пірант А (3), П4АП (4); на бікарбонатній основі – ПСБ 3 (5), суміш KHCOS_3 і сольового шламу (6), суміш бікарбонату і сульфату калію із сольовим шламом (7); продукт сплавлення сечовини і солевих відходів (8); ультрадисперсні порошки на основі відходів хлориду калію (9) та за цією роботою

Висновки. Отже, важливим наслідком коротко описаних розробок виявилася можливість суттєвого підвищення вогнегасної ефективності шляхом регулювання структури й управління властивостями поверхні частинок неорганічних солей та адсорбентів без використання вискоефективних, але вкрай дефіцитних матеріалів. Такий підхід до створення інгібіторів горіння, у тому числі ВП, практично не залежить від сировинної бази і, що є важливою перевагою, забезпечує досягнення зна-

чного ефекту інгібування або вибухопридушення за зменшення витрат хімічних засобів. Сьогодні зі становленням економіки країни актуальним є відновлення масового виробництва ВП. Існують підприємства, що розробляють і випускають сучасні засоби доставки вогнегасних порошкових композицій (у тому числі імпульсні вогнегасники й установки).

Природно, потрібне «узгодження» експлуатаційних показників ВП, що пропонуються, та параметрів техніки їх доставки. Значний інтерес представляє можливість створення ВП як резервних засобів, у тому числі спеціального призначення, для їх доставки за допомогою дистанційних, а саме аеростатних засобів, на об'єкти атомної промисловості, палаючі нафтові поля і лісові масиви.

Список літератури:

1. Соболев В.А. Структурный фактор в ингибировании реакций горения неорганическими веществами // Мат-лы IX Всес. симпозиума по горению и взрыву. – Хим. физика горения и взрыва. Суздаль; 19–24.11.89 г./ Вып. «Горение гетерогенных и газовых систем», С. 57–60 (Черноголовка, 1989 г).
2. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Кн. Огнетушащие порошковые составы // М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.
3. Добриков В.В., Вогман Л.П., Александров В.Е. Флегматизация и подавление пламени метано-воздушной смеси в больших объемах порошковыми составами // В кн. Проблемы горения и тушения пожаров / Мат-лы IV Всес. научн.-практической конференции. – М.: ВНИИПО, 1975, С. 49–50.
4. Баратов А.Н., Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности // М.: Химия, 1979. – 366 с.
5. Гозалишвили М.И., Дзоценидзе З.Г., Соболев В.А. и др. Термодиспергирующиеся неорганические материалы с повышенной ингибирующей способностью // Сообщ. АН ГССР. Физ. химия, 1987, 126, № 2, С. 337–340.
6. Добриков В.В., Соболев В.А., Иванов В.С., Ковальчук В.Ю. Ультрадисперсный ингибитор горения // В кн.: Пожаротушение. М.: ВНИИПО, 1986, С. 165–170.
7. Бобонич Ф.М. Химический состав и ионообменные свойства цеолитов // В кн.: Адсорбция и адсорбенты. Киев: Наукова думка, 1980. – вып. 8. – С. 72–76.
8. Чертов В.М., Тютюнник Р.С., Неймарк И.Е. Синтез и адсорбционно-структурные свойства пористого алюмофосфата // В кн. Адсорбция и адсорбенты. – Киев: Наукова думка, 1974. – вып. 2. – С. 109–112.
9. Кобзарь В.Н., Крюков В.Н. Об одном из критериев оценки огнетушащей эффективности порошков // В кн. Пожарная техника и тушение пожаров. – М.: ВНИИПО, 1979. – вып. 18. – С. 95–102.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПОРОШКОВЫХ СРЕДСТВ ОГNETУШЕНИЯ И ВЗРЫВОПОДАВЛЕНИЯ

Обоснован теоретически и экспериментально подход к созданию ингибиторов горения путем квалифицированного управления свойствами поверхности и структурными особенностями высокодисперсных частиц неорганических солей и адсорбентов. Описаны результаты испытаний огнетушащих порошков, не имеющих аналогов, возможности их производства.

Ключевые слова: ингибиторы горения, порошки огнетушащие, активные центры, коэффициенты рекомбинации, пределы воспламенения.

ON THE POSSIBILITY OF MANUFACTURE OF POWDER EXTINGUISHING FACILITIES AND EXPLOSION SUPPRESSION

Theoretically and experimentally substantiated approach to the creation of combustion inhibitors by the qualified control of surface properties and structural features of highly dispersed particles of inorganic salts and adsorbents. Results of tests of extinguishing powders, which have no analogues. Opportunities to create their production.

Key words: combustion inhibitors, fire extinguishing powders, active centers, recombination factors, ignition limits.

УДК 621.396.946

Явіся В.С.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Петрова В.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ АБОНЕНТІВ ПЕРСОНАЛЬНОГО СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Супутниковий зв'язок надає широкий спектр телекомунікаційних послуг майже у будь-якій точці земної кулі. При цьому якість надання послуг телефонії напряму залежить від способу побудови супутникової системи. Для скорочення часу затримки проходження сигналу у системах супутникового зв'язку, які використовують супутники на геостаціонарній орбіті, пропонується додатково використовувати угруповання низькоорбітальних наносупутників.

Ключові слова: супутниковий зв'язок, геостаціонарна орбіта, затримка сигналу, наносупутник.

Постановка проблеми. Сьогодні супутниковий зв'язок – це реальна можливість організації та підключення до всіх сервісів – від телефонії, високошвидкісного доступу в Інтернет до побудови корпоративних мереж для передачі даних. Супутниковий зв'язок – оптимальний варіант для створення комунікацій між географічно віддаленими регіонами, а також районами з нерівномірно розвинутою інфраструктурою.

Затребуваність супутникового зв'язку пояснюється його перевагами, серед яких, зокрема [1]:

– велика пропускна здатність, зумовлена роботою супутників у широкому діапазоні гігагерцових частот;

– забезпечення зв'язку між станціями, розташованими на дуже великих відстанях, і можливість обслуговування абонентів у важкодоступних районах;

– незалежність вартості передачі інформації від відстані між абонентами (вартість залежить від тривалості передачі або обсягу переданого трафіку);

– можливість побудови мережі без фізично реалізованих комутаційних пристроїв, яка зумовлена широкомовністю роботи супутникового зв'язку.

Аналіз досліджень і публікацій. Сучасні системи персонального супутникового зв'язку за орбітальною ознакою умовно можна розділити на дві групи. До першої належить супут-

никовий зв'язок операторів *Inmarsat* та *Thuraya*, який працює на геостаціонарних супутниках, що обертаються зі швидкістю землі. Друга група представлена відомими операторами – *Iridium* та *Globalstar*, які являють собою низькоорбітальні системи.

Компанія *Inmarsat* має та експлуатує одну з найбільших у світі мереж супутникового зв'язку. Ця мережа має парк з одинадцяти супутників (два з яких є резервними) на геостаціонарній орбіті на відстані близько 36 000 кілометрів від Землі і включає супутники нового покоління, які являють собою певний еталон для систем мобільного супутникового зв'язку з позиції їх енергетичних можливостей, пропускної спроможності й універсальності. Виведені на орбіту супутники забезпечують глобальне охоплення ширококутовим зв'язком 98% земної поверхні, за винятком крайніх полярних регіонів.

На геостаціонарну орбіту оператором *Thuraya* запущено всього три супутники, один з яких вже відпрацював свій ресурс, однак і надалі перебуває на орбіті як резервний. Два активних супутники утворюють зону покриття, в якій існують «білі плями» як у світовому океані, так і на суші (Північна та Південна Америка, більша частина північних територій Росії, а також обидва полюси Землі).

Кожний із супутників *Inmarsat* та *Thuraya*, розташованих на геостаціонарній орбіті, генерує

сотні надпотужних сфокусованих променів, які можуть бути оперативно сконфігуровані так, щоб давати необхідну пропускну здатність мережі в районах підвищеного попиту на послуги шляхом розширення або збільшення кількості променів.

Дзвінок всередині мережі в будь-якій точці зони покриття здійснюється без використання наземних станцій. З'єднання абонентських терміналів із наземними мережами оператором *Inmarsat* забезпечується трьома наземними станціями, оператор *Thuraya* використовує одну таку станцію [2; 3].

Термін служби супутників розрахований на 12–15 років [4].

Безумовним лідером групи низькоорбітальних супутникових систем можна вважати оператора *Iridium*, якому вдалося забезпечити 100%-ве покриття поверхні Землі.

У системі *Iridium* функціонують 77 супутників, 66 з яких є активними, що розміщуються на 6 приполярних орбітах. Розроблений для цієї мережі механізм міжсупутникових зв'язків дає змогу передавати сигнал з одного супутника на інший без ретрансляції цього сигналу на Землю. Таким чином, теоретично *Iridium* може працювати за наявності лише однієї земної станції сполучення, що приймає всі абонентські дзвінки (всього працює 2 такі станції). Супутники *Iridium* знаходяться на висоті 780 км над поверхнею Землі, нижче всіх інших супутників, які використовуються іншими відомими системами мобільного супутникового зв'язку [2, 3].

Супутники *Globalstar* є ретрансляторами з прямою ретрансляцією. В угрупованні є 48 активних та 4 резервних апарати, які знаходяться на висоті 1414 км. Мережа наземних шлюзових станцій забезпечує можливість підключення від 40 супутників до наземних мереж. У зв'язку з відсутністю міжсупутникового зв'язку апарати повинні мати вихід до станції з метою надання послуг для всіх користувачів, яких можна розпізнати. Використання мережі наземних шлюзів надає клієнтам локалізовані регіональні телефонні номери для мобільних телефонів супутникового зв'язку. Але якщо немає станцій прийому сигналу в деяких віддалених районах, сервіс не може бути наданий у цих районах, навіть якщо супутники присутні над ними. Внаслідок цього без покриття залишаються полюси й окремі регіони в Африці та Азії.

Термін служби супутників *Iridium* та *Globalstar* – в межах 7–10 років [4].

Загальними недоліками супутникових мереж зв'язку є [1]:

– необхідність витрат коштів і часу на забезпечення конфіденційності передачі даних;

– наявність затримки прийому радіосигналу наземною станцією через великі відстані між супутником і наземним сегментом;

– можливість взаємного спотворення радіосигналів від наземних станцій, що працюють на суміжних частотах;

– схильність до спотворень сигналів на ділянках «Земля – супутник» і «супутник – Земля» внаслідок впливу різних атмосферних явищ.

Проведений аналіз принципів побудови глобальних систем супутникового зв'язку дає змогу дійти висновку про те, що системи з апаратами на геостаціонарній орбіті мають низку переваг:

– можливість обслуговування абонентів мережі без наземних шлюзових станцій;

– висока стабільність рівня сигналу в радіоканалі;

– відсутність ефекту Доплера;

– простота організації зв'язку в глобальному масштабі.

Недоліками є:

– перенасиченість геостаціонарної орбіти на багатьох ділянках;

– неможливість обслуговування приполярних областей;

– високе загасання сигналу;

– значна затримка у проходженні сигналу.

Постановка завдання. Для користувача послугами супутникового зв'язку найбільш суттєвим є останній недолік. Позбавитися його можливо лише за умови створення коротшого шляху проходження сигналу. Така можливість з'являється за рахунок роумінгу, за умови того, що абонент із дворезимним терміналом потрапляє до зони обслуговування наземної мобільної мережі *GSM*. Але така можливість є не завжди.

Виклад основного матеріалу. Пропонується інший спосіб усунення зазначеного недоліку, який передбачає певного роду модернізацію супутникового угруповання. Мова йде про застосування наносупутників (НС). Такі апарати важать всього кілька кілограмів і можуть виводитися в космос як попутне навантаження або одразу пакетами з десятків і навіть сотень одиниць. Доступ абонентів до ресурсів мережі можливий саме через НС. Кластери НС можуть використовуватися як ретрансляційна мережа. За умови розташування орбіти НС на висотах до 700 км з'являється потенційна можливість зменшення затримки сигналу за рахунок скорочення протяжності маршруту його проходження.

На рисунку 1 зображено обслуговування абонентів, які перебувають у зоні обслуговування одного геостационарного супутника (ГС). Цей варіант обслуговування передбачає встановлення з'єднання за декілька основних етапів. На першому етапі ініціатором, наприклад Абонентом 1, надсилається запит на ГС на обслуговування, отримується його підтвердження, після чого передається адресна інформація (ділянка 1.1). По завершенні аналізу визначається можливість встановлення з'єднання з Абонентом 2 (ділянка 1.2) та за наявності такої відбувається передача трафіку між абонентами по маршруту: Аб.1–1.1–ГС–1.2–Аб.2.

Довжина шляху проходження сигналу без урахування кривизни поверхні Землі за відстані до ГС близько 36 000 км становить порядку $S1 = 72\ 000$ км, що відповідає часу затримки у проходженні сигналу в одному напрямі: $T_{затр1} = S1/C = 0,24$ (с).

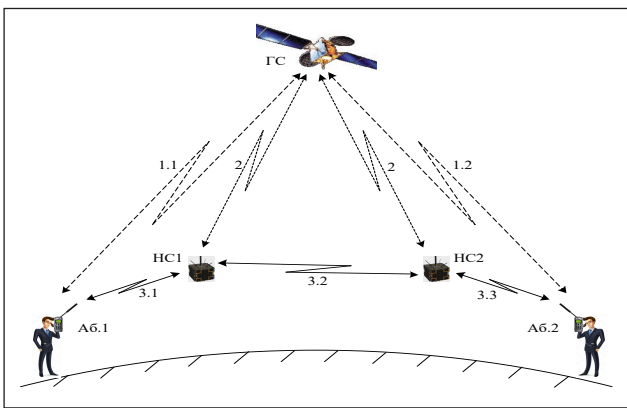


Рис. 1. Етапи встановлення з'єднання та проходження сигналів між абонентами

За наявності угруповання НС передбачається, що інформація про розташування НС є доступною та постійно оновлюється на ГС. Алгоритм встановлення з'єднання незначно ускладнюється і виглядає таким чином. Початковий етап (ділянки 1.1, 1.2) практично збігається з попередньою ситуацією. Але після встановлення факту доступності Абонента 2 відбувається аналіз можливості встановлення з'єднання абонентів із певними НС (ділянка 2), а також між зазначеними НС. За значної кількості НС в угрупованні така можливість високоїмовірна. Тобто, якщо вона є, від ГС надходить сигнал управління як до абонентських терміналів, так і до визначених НС на встановлення з'єднань між терміналами і НС (ділянки 3.1, 3.3) та між НС (ділянка 3.2). Залежно від відстані між абонентами буде змінюватися кількість ділянок 3.2 у маршруті. На рис. 1 представлений варіант такого з'єднання між абонентами по маршруту: Аб.1 – 3.1 – НС1 – 3.2 – НС2 – 3.3 – Аб.2.

Довжина шляху проходження сигналу між абонентами, які знаходяться на відстані 10 000 км один від одного за відстані до НС близько 700 км, становить порядку $S2 = 12\ 000$ км, що відповідає часу затримки сигналу в одному напрямі: $T_{затр2} = S2/C = 0,04$ (с).

Варто зазначити, що проведені розрахунки здійснювалися без урахування часу обробки сигналів на борту ГС та НС.

Висновки. Таким чином, застосування угруповання НС у системах із супутниками на геостационарній орбіті дасть змогу значно скоротити час запізнювання сигналу і тим самим підвищити якість обслуговування абонентів.

Список літератури:

1. Сомов А.М., Корнев С.Ф. Спутниковые системы связи: учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 244 с.
2. SatcomDV, сайт компании. Информация о системах спутниковой связи. / Электронный ресурс/ http://www.satcomdv.ru/informaciya_o_sistemah_sputnikovoj_sa.
3. Быховский М.А. Развитие телекоммуникаций. На пути к информационному обществу. Развитие спутниковых телекоммуникационных систем: учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 436 с.
4. Кукк К.И. Спутниковая связь: прошлое, настоящее, будущее. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 256 с.

**СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ
АБОНЕНТОВ ПЕРСОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

Спутниковая связь предоставляет широкий спектр телекоммуникационных услуг практически в любой точке земного шара. При этом качество предоставления услуг телефонии напрямую зависит от способа построения спутниковой системы. Для сокращения времени задержки прохождения сигнала в системах спутниковой связи, использующих спутники на геостационарной орбите, предлагается дополнительно использовать группировки низкоорбитальных наноспутников.

Ключевые слова: спутниковая связь, геостационарная орбита, задержка сигнала, наноспутник.

**A METHOD OF IMPROVING THE QUALITY OF SERVICE
FOR PERSONAL SATELLITE COMMUNICATIONS**

Satellite communication provides a wide range of telecommunications services practically anywhere in the world. At the same time, the quality of the provision of telephony services directly depends on the method of building a satellite system. To reduce the signal propagation delay time in satellite communication systems using satellites in the geostationary orbit, it is proposed to additionally use groups of low-orbit nanosatellites.

Key words: satellite communications, geostationary orbit, signal delay, nanosatellite.

Відомості про авторів

Алексєєва І.В. – кандидат фізико-математичних наук Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Байдур О.В. – студент Інституту телекомунікацій та інформатизації;

Бондарук О.А. – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Гребенюк Т.В. – кандидат технічних наук, викладач Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Гуйда О.Г. – старший викладач Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Давидюк В.О. – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дичко А.О. – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Єремєєв І.С. – доктор технічних наук, професор Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Єщенко А.І. – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Жук О.В. – кандидат технічних наук, доцент, докторант науково-організаційного відділу Інституту телекомунікацій та інформатизації;

Кузьменко Б.В. – доктор технічних наук, професор Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко О.І. – доктор технічних наук Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Матвійчук О.С. – кандидат технічних наук, почесний енергетик України, завідувач секретаріату Спеціальної контрольної комісії Верховної Ради України з питань приватизації;

Мінаєва Ю.Ю. – викладач Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Ополінський І.О. – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Петрова В.М. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Прищєпа Т.О. – старший викладач Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Романюк А.В. – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Соболєв В.О. – кандидат хімічних наук, доцент Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Тачиніна О.М. – кандидат технічних наук, доцент Національного авіаційного університету;

Явісія В.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Науковий журнал

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 28 (67) № 1 2017

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Івана Кудрі, 33

Електронна пошта: editor@tech.vernadskyjournals.in.ua

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 5,91. Ум.-друк. арк. 7,44.

Підписано до друку 30.08.2017. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 4392 від 20.08.2012 р.