

захисного коду у режимі конструктора модель дозволяє контролювати досяжність кінцевої розмітки, що забезпечує надійність функціонування захисту. Стохастична складова при формуванні остаточного графа ускладнює процес аналізу захисного коду. До того ж динамічний граф управляючої логіки захисного модуля поєднується з графом управляючої логіки програми, що дозволяє запобігти успішним атакам на видалення захисного коду.

Дані результати можливо застосовувати як основу для формування інструментарію формування ліцензійних підсистем захисту, аналіз коду яких є задачею підвищеної складності.

Список літератури: 1. Касперски К. Фрагмент из второго издания книги "Техника и философия хакерских атак 2000" [Электронный документ] http://www.wasm.ru/article.php?article = reg_ old . Проверено 23.09.2010 г. 2. Касперски К., Рокко Е. Искусство дизассемблирования. – СПб: БХВ-Петербург, 2008. – 896 с. 3. Кузьмук В.В. Сети Петри и моделирование параллельных процессов. – К.: ИПМЕ, 1985. – 64 с. (Препр. АН УССР, Институт проблем моделирования в энергетике; №17). 4. Доля А.В., Айрапетян Р.А. Защита программных продуктов с помощью сложных математических объектов на примере сетей Петри. // «Молодежь XXI века будущее Российской науки»: Тезисы докладов III Межрегиональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Ростов-на-Дону: ЦВВР, 2005. – С. 26-27. 5. Романенко А.Ю., Супруненко О.О. Модификация серийных подсистем защиты программного обеспечения на основе сетей Петри. // Материалы IV Всероссийской конференции аспирантов и молодых учёных. – М.: МИРЭА, 2010. – С. 78-81.

Поступила в редколлегию 25.11.2010

УДК: 621.311.681.5

Б.В. ФОМЕНКО, асистент, НТУУ «КПІ», м. Київ
О.В. СТЕПАНЕЦЬ, аспірант, НТУУ «КПІ», м. Київ
О.С. БУНКЕ, аспірант, НТУУ «КПІ», м. Київ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЗА РАХУНОК ВРАХУВАННЯ ОБМЕЖЕНЬ КЕРОВАНОГО СИГНАЛУ

У роботі запропоновано використання алгоритмів керування в нелінійних системах з врахуванням обмежень на керований сигнал. Представлені алгоритми на основі корекції роботи ПІ - та ІМС - регуляторів з компенсацією інтегрального насичення.

Ключові слова: нелінійні системи, ІМС-алгоритм, ПІ-регулятор з коректором, технологічні обмеження.

В работе предложено использование алгоритмов управления в нелинейных системах с учетом ограничений на регулируемый параметр. Представлены алгоритмы на базе коррекции работы ПИ - и ИМС - регуляторов с компенсацией интегрального насыщения.

Ключевые слова: нелинейные системы, ИМС-алгоритм, ПИ-регулятор с корректором, технологические ограничения.

In the article the use of control algorithms for nonlinear systems with output constraints has been proposed. There were presented algorithms based on the correction of the PI - and IMC - controllers with integral compensation of saturation.

Key words: nonlinear systems, IMC-algorithm, PI-controller with correction, output constraints.

1. Опис нелінійних систем керування з врахуванням обмежень

Розглянемо використання різних алгоритмів керування в структурних рішеннях з врахуванням обмежень на параметр y_2 . Системи керування з врахуванням обмежень представлені на рис. 1, 2.

Головний регулятор працює за умови, що $y_{2lo} \leq y_2 \leq y_{2hi}$, тобто, параметр y_2 знаходиться в заданому допустимому діапазоні. Якщо $y_2 > y_{2hi}$ або $y_2 < y_{2lo}$, то спрацьовують відповідні регулятори обмежень.

Для структури, що представлена на рис. 1, при наявності інтегральної складової в алгоритмі регулятора обмежень параметри нелінійної ланки «зона нечутливості» визначаються за формулами: $u_{2hi} = r_{2hi} \frac{K_{p2}}{Ka_2}$, $u_{2lo} = r_{2lo} \frac{K_{p2}}{Ka_2}$, де r_{2hi} та r_{2lo} - верхнє та нижнє допустиме значення керованої змінної y_2 [1].

Для структури, представленої на рис. 2, обмеження для регульованого параметру y_2 задаються в якості завдань регуляторам обмежень верхньої та нижньої границь r_{2hi} та r_{2lo} відповідно. В розглянутих структурах в якості основної регульованої змінної – y_1 , в якості обмеженої змінної – y_2 .

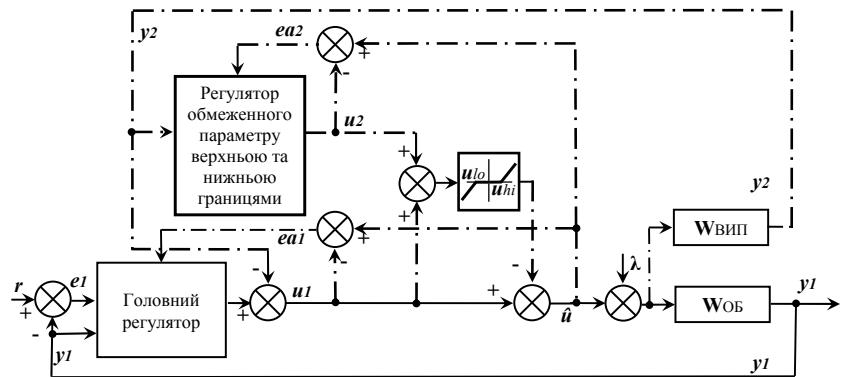


Рис. 1. Нелінійна система регулювання з обмеженням параметру y_2

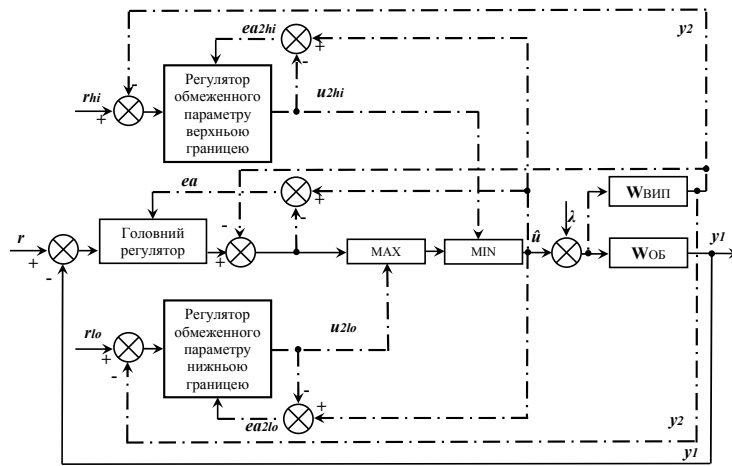


Рис. 2 Нелінійна система регулювання з обмеженням параметру y_2

2. I-П та III-Д алгоритми керування

Для використання I-П та III-Д алгоритмів керування в вищезазначених нелінійних структурах необхідно доповнити їх алгоритмом компенсації інтегрального насичення. Алгоритм компенсації інтегрального насичення, що детально розглянутий в [2], використовується для запобігання накопичення

інтегратором при обмеженні керуючого сигналу та виконує функції безударного переключення.

Якщо $U \neq \hat{U}$, тоді запишемо І-П та П-Д-алгоритми керування з компенсацією інтегрального насичення для головного регулятора (1, 2) та регулятора обмеженого параметра (3, 4) для структури, що представлена на рис. 1, відповідно:

$$U_{1I-P}(p) = \frac{K_{p1}}{T_{i1}p + Ka_1} E_1(p) + \frac{Ka_1}{T_{i1}p + Ka_1} \hat{U}(p) + \frac{K_{p1}T_{i1}p}{(T_{i1}p + Ka_1)} Y_1(p), \quad (1)$$

$$U_{1PI-D}(p) = \frac{K_{p1}(T_{i1}p + 1)}{T_{i1}p + Ka_1} E_1(p) + \frac{Ka_1}{T_{i1}p + Ka_1} \hat{U}(p) + \frac{K_{p1}T_{d1}T_{i1}p^2}{(T_{f1}p + 1)(T_{i1}p + Ka_1)} Y_1(p), \quad (2)$$

$$U_{2I-P}(p) = \frac{K_{p2}(T_{i2}p + 1)}{T_{i2}p + Ka_2} Y_2(p) + \frac{Ka_2}{T_{i2}p + Ka_2} \hat{U}(p), \quad (3)$$

$$U_{2PI-D}(p) = \frac{K_{p2}(T_{i2}p + 1)}{T_{i2}p + Ka_2} Y_2(p) + \frac{Ka_2}{T_{i2}p + Ka_2} \hat{U}(p) + \frac{K_{p2}T_{d2}T_{i2}p^2}{(T_{f2}p + 1)(T_{i2}p + Ka_2)} Y_2(p), \quad (4)$$

де: $E_1(p) = R(p) - Y_1(p)$, $\hat{U}(p)$ - обмежений сигнал керування.

Для структури, що представлена на рис. 2, алгоритми головного регулятора та регуляторів обмежень мають вигляд, що наведений в (1, 2).

3. Алгоритм ІМС

Система з ІМС [3] (Internal Model Control) складається з моделі об'єкта керування, ввімкненої паралельно об'єкту, та ІМС-регулятора, що має вигляд інвертованої моделі, послідовно сполученої з фільтром. ІМС-регулятори застосовані для регулювання основного контуру та підтримання у заданих межах проміжної технологічної величини.

Налаштування системи проходить у два етапи: визначення параметрів моделі об'єкта та визначення величини параметра фільтра λ методом оптимального параметричного синтезу.

На першому етапі налаштувань проходить ідентифікація параметрів моделі об'єкта керування, тобто визначаються моделі випереджаючої частини об'єкта $W_{вип}(p)$ та об'єкта в цілому $W_{об}(p)$ (рис. 1,2).

Ідентифікація проводиться за допомогою методу аналізу початкової ділянки перехідного процесу в розімкненій системі [4]. Його суть полягає у введенні до розімкненої системи фільтрів для забезпечення порядку системи не нижче другого і подальшому аналізу перехідної характеристики. Фільтр вводиться після кожного інформаційного сигналу, відфільтровані сигнали потрапляють в алгоритмічний блок аналізу параметрів моделі об'єкта.

Час досягнення похідною регульованої величини максимуму та значення вихідного сигналу в цей момент залежать від динамічних властивостей об'єкта. Застосувавши емпіричні формули, можна визначити коефіцієнти підсилення та сталі часу моделі об'єкта керування. Транспортні запізнення $\tau_{об}$, $\tau_{об1}$ визначаються як час між подачею тестового сигналу $\Delta u(t)$ на вхід об'єкта та

реакцією об'єкта. Параметри моделей $K_{об1}$, $T_{об1}$, $\tau_{об1}$ та $K_{об}$, $T_{об}$, $\tau_{об}$ визначаються одночасно, тобто проводиться ідентифікація випереджаючої частини та об'єкта в цілому.

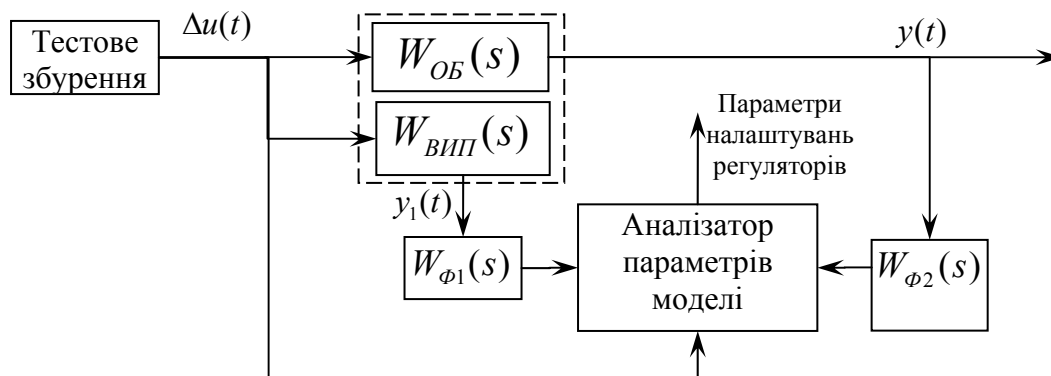


Рис. 3 Структура модуля ідентифікації параметрів об'єкта

На цьому етапі ідентифікації закінчується, і система готова до остаточного налаштування у замкненому контурі. Для цього визначені на попередньому етапі оцінки параметрів об'єкта керування присвоюються відповідним параметрам моделей та регуляторів.

Результуючий ІМС-алгоритм для використання в нелінійній системі, що представлена на рис. 2, визначається як:

$$U_{ІМС}(p) = \frac{T_{об}p + 1}{K_{об}(\lambda p + 1)} E_M(p) + Ea(p). \quad (5)$$

Де: $E_M(p) = R(p) - (Y(p) - Y_M(p))$, $Ea(p) = \hat{U}(p) - U(p)$, λ — постійна фільтра ІМС-регулятора, $Y_M(p)$ - вихідний сигнал з моделі об'єкта. При використанні ІМС-алгоритму в регуляторах обмежень нелінійної системи, що представлена на рис.1, в (5) $E_M(p)$ обраховується як:

$$E_M(p) = Y(p) - Y_M(p) \quad (6)$$

Додатковий параметр налаштування λ в (5) визначається методом оптимального параметричного синтезу з використанням пошукових алгоритмів нульового порядку. Початкові значення λ_i ІМС-регуляторів рекомендовано брати рівними транспортному запізненню відповідного контуру регулювання - $\lambda_i \approx \tau_i$.

4. ІІ-алгоритм з коректором

Для підвищення запасу стійкості системи керування на основі ІІ-регулятора було застосовано двоканальний регулятор з динамічним коректором (патент України №44799). На відміну від багатьох відомих промислових регуляторів, використаний регулятор має більш досконалу функціональну структуру формування керуючого сигналу, що забезпечує як необхідну швидкодію, так і достатній запас стійкості автоматичної системи регулювання. Перший канал містить класичний ІІ-регулятор, а другий канал містить інерційну (що в контролерах реалізується за допомогою набору аперіодичних

ланок) та пропорційну ланки. Другий канал в результаті являє собою канал динамічної корекції, який в залежності від параметрів системи вступає в дію із необхідним запізненням, компенсуючи на завершальній стадії перехідного процесу надлишковий керуючий вплив, чим забезпечує стійкість системи авторегулювання і знижує коливання керованого параметра. Другий канал реалізує функцію [5]:

$$W_k(p) = \frac{1}{(T_{1k} \cdot p + 1)} \cdot \frac{K_k}{(T_{2k} \cdot p + 1)} \quad (7)$$

де K_k – коефіцієнт пропорційної частини коректора, T_{1k} та T_{2k} – сталі часу інерційної аперіодичної частини коректора, що визначають тривалість затримки дії другого каналу відносно першого.

Як для регулятора обмежень, так і для основного регулятора, швидкодія забезпечується першим каналом, в якому ПІ-регулятор розраховується на максимальну швидкодію та мінімальний динамічний викид. Але такий регулятор сам по собі не може забезпечити достатню стійкість системи керування при зміні параметрів об'єкту. Тому, щоб одночасно забезпечити швидкодію, мінімальний динамічний викид та стійкість системи, вводиться канал динамічної корекції (7), параметри якого розраховуються за формулами:

$$K_e = 0,4 \cdot K_p, \quad T_{1e} = \frac{T_i}{4,5}, \quad T_{2k} = T_{1k} \cdot 0,5.$$

де K_p - коефіцієнт пропорційної частини ПІ-регулятора, T_i – стала часу інтегрування ПІ-регулятора. Тоді з врахуванням (7) ПІ-алгоритм з коректором для головного регулятора та регуляторів обмежень нелінійної системи (рис. 2) запишеться як:

$$U_{пнк}(p) = \frac{K_p(T_1 p + 1)}{T_1 p + K_a} E(p) + \frac{K_a}{T_1 p + K_a} \hat{U}(p) - \frac{1}{(T_{1k} \cdot p + 1)} \cdot \frac{K_k}{(T_{2k} \cdot p + 1)} E(p) \quad (8)$$

Для регулятора обмежень нелінійної структури, що представлена на рис. 1, алгоритм керування запишеться як:

$$U_{пнк}(p) = \frac{K_{p2}(T_{12} p + 1)}{T_{12} p + K_{a2}} Y_2(p) + \frac{K_{a2}}{T_{12} p + K_{a2}} \hat{U}(p) - \frac{1}{(T_{12k} \cdot p + 1)} \cdot \frac{K_{k2}}{(T_{22k} \cdot p + 1)} Y_2(p) \quad (9)$$

Формули налаштування отримано експериментальним методом, вони підтвердили свою адекватність як при імітаційному моделюванні так і при налаштуванні діючого зразка двоканального регулятора на Трипільській ТЕС. Експериментальні дослідження показали, що стійкість АСР зберігається при зміні динамічних характеристик об'єкта регулювання в 1,5..2 рази.

Результати дослідження

Дослідження проводились на прикладі системи автоматичного регулювання температури первинної пари. В якості основної регульованої змінної – температура після пароперегрівача, в якості обмеженої змінної – температура після пароохолоджувача.

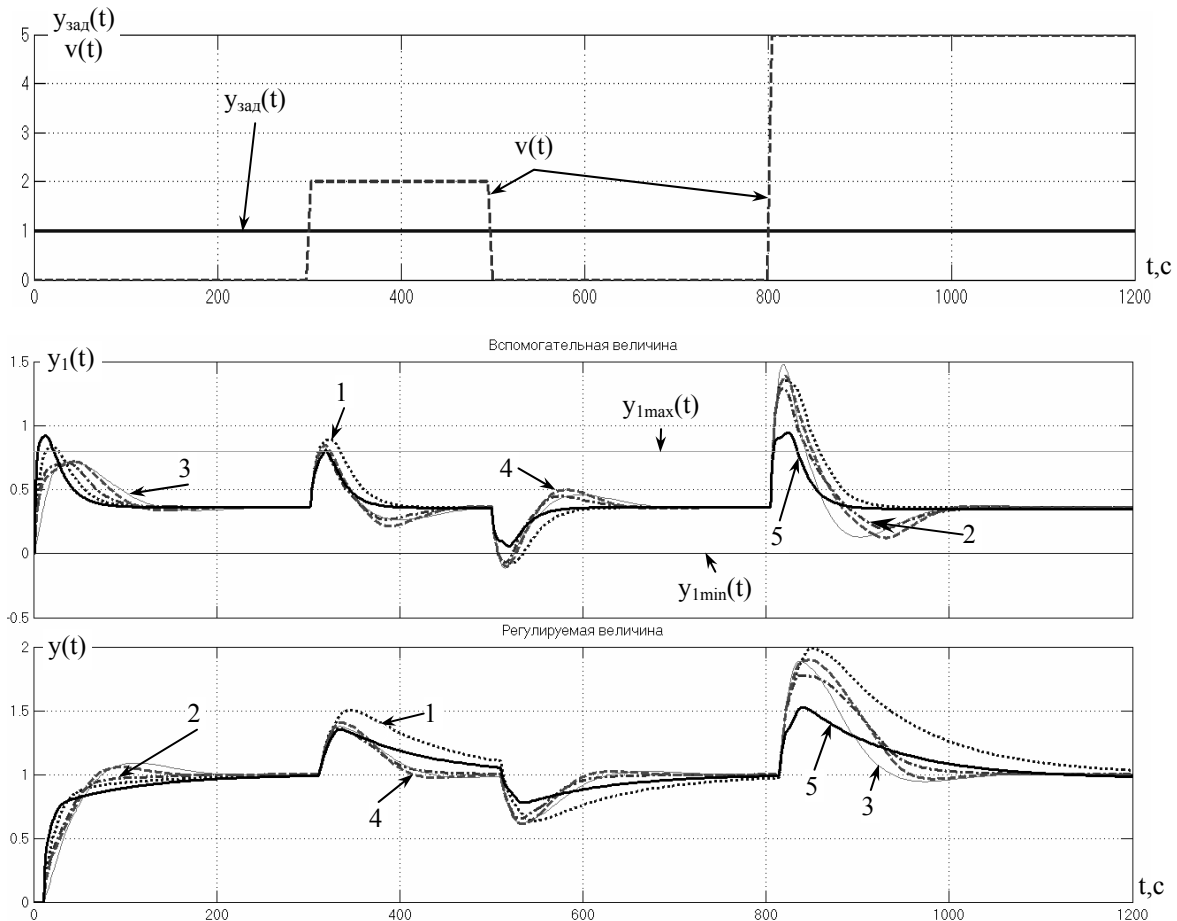


Рис. 4 Перехідні процеси під дією координатних збурень

1 – головний ІМС-регулятор з ПІ-регуляторами обмежень; 2 – головний І-П-регулятор з І-П-регуляторами обмежень; 3 - головний ПІ-регулятор з коректором з ПІ-регуляторами обмежень; 4 – головний регулятор та регулятори обмежень з ПІ-алгоритмами і коректором; 5 - головний ІМС-регулятор та ІМС-регулятори обмежень

Висновки

Використання нелінійних структурних рішень з врахуванням обмежень дозволяє підтримувати проміжну технологічну величину у заданих межах, що сприятливо позначається на технологічному обладнанні, при цьому поліпшуючи й динаміку керування.

Перевагами використання в нелінійній системі ІМС-алгоритмів є полегшене у порівнянні зі звичними ПІД-регуляторами налаштування (після процедури автоматичної ідентифікації система, фактично, готова до роботи) та окремий параметр налаштування, що відповідає за грубість системи. Разом з тим, через особливості алгоритму ідентифікації система малопридатна до використання при наявності значних промислових перешкод, потребує повторення ідентифікації при зміні режиму роботи обладнання.

ПІ-регулятор з коректором доцільно використовувати для керування інерційними об'єктами, динамічні параметри яких змінюються під час роботи. Стабілізаційний ефект коректора відчувається при застосуванні на об'єктах з

відношенням параметрів: $\tau_{OB} / T_{OB} \geq 0,08$, та чим більша величина транспортного запізнення τ_{OB} , тим більший стабілізаційний ефект у порівнянні з класичним ПІ-регулятором можна отримати.

Список літератури: 1. Glattfelder A.H. Control systems with input and output constraints / Glattfelder A.H., Shaufelberger W. – London.: Springer, 2003. – 499 p. 2. Ковриго Ю.М. Врахування обмежень для підвищення якості функціонування систем регулювання енергоблоків ТЕС і АЕС/ Ю.М. Ковриго, Б.В. Фоменко// Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. 3. Daniel E. Rivera. Internal Model Control: A Comprehensive View / Daniel E. Rivera – Department of Chemical, Bio and Materials Engineering College of Engineering and Applied Sciences Arizona State University, Tempe, Arizona, 1999. — 20 pp. 4. Мовчан А.П.. Идентификация объектов управления в адаптивных системах управления / Мовчан А.П., Мысак В.Ф., Степанец А.В. // - Сучасні наукові дослідження – 2006: матеріали II міжнародної науково-практичної конференції. - Д.: Наука і освіта, 2006. – с. 60-63. Коновалов, М.А. Проблемы автоматизации инерционных теплоэнергетических объектов. ISBN 978-966-651-734-3. / М.А. Коновалов. — Киев, «Феникс», 2009г. — 309 с.

Поступила в редколлегию 01.12.2010

УДК 504.064.3:574

Г.О. СТАТЮХА, докт. техн. наук, профессор, завідувач кафедри, НТУУ "КПІ", м. Київ

Т.В. БОЙКО, канд. техн. наук, доцент, НТУУ "КПІ", м. Київ

Ю.О. БЕЗНОСИК, канд. техн. наук, доцент, НТУУ "КПІ", м. Київ

Л.М. БУГАЄВА, канд. техн. наук, доцент, НТУУ "КПІ", м. Київ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В ПРОЕКТУВАННІ МЕРЕЖ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

У статті вирішується проблема оптимального розміщення постів спостереження, що забезпечує одержання максимуму інформації при мінімумі витрат на встаткування й експлуатацію моніторингової мережі атмосферного повітря

Ключові слова: моніторингова мережа, оптимізація, атмосферне повітря

В статье решается проблема оптимального размещения постов наблюдения, которые обеспечивают получение максимум информации при минимуме затрат на установку и эксплуатацию мониторинговой сети атмосферного воздуха

Ключевые слова: мониторинговая сеть, оптимизация, атмосферный воздух

The paper solves the problem of optimal placement of observation stations providing the maximum information under minimum costs for installation and operation of air monitoring network

Keywords: monitoring network, optimization, air

1. Вступ

Наявні у великих містах нашої країни моніторингові станції найчастіше надають неповну або перевернену інформацію про стан повітряного басейну. Створені раніше моніторингові мережі вимагають модернізації, тому що неефективно виконують свої функції в силу ряду причин: фізична зношеність, неоптимальне розташування внаслідок структури, що