

ВЕСТНИК
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

ISSN 2079-5459

Сборник научных трудов

53'2011

***Тематический выпуск "Новые решения в
современных технологиях"***

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ» в 2001 году

Госиздание

Свидетельство Госкомитета по информационной политике

Украины КВ №5256 от 02.07.2001 г

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.Л.Товажнянский, д-р техн.наук, проф.

Секретарь

К.А. Горбунов, канд. техн.наук, доц.

Координационный совет

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.

Л.М. Бесов, д-р техн. наук, проф.

Б.Т. Бойко, д-р техн. наук, проф.

Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.

В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.

Ю.И. Зайцев, канд. техн. наук, проф.

В.В. Епифанов, канд. техн. наук, проф.

О.П. Качанов, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

С. И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.

В.С. Луников, д-р техн. наук, проф.

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

В.И. Николаенко, канд. ист. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.

В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

А.В. Ивахненко, ст. преп.

Г.И. Львов, д-р техн.наук, проф.

А.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

И.В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.

Л.Г. Раскин, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Терзиян, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Узунян, д-р техн. наук, проф.

Л.Л. Брагина, д-р техн. наук, проф.

В.И. Шустиков, д-р техн. наук, проф.

В.И. Тошинский, д-р техн. наук, проф.

Р.Д. Сытник, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

Б.В. Клименко, д-р техн. наук, проф.

Г.Г. Жемеров, д-р техн. наук, проф.

В.Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.

Н.Н. Александров, д-р техн. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.

Н.И. Погорелов, канд. экон. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе. 21 НТУ
«ХПИ», СМУС Тел. (057) 707-60-40

Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць.
Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.- Харків: НТУ „ХПІ» -
2011. - №53. - 164с.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов

У збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів

Друкується за рішенням Вченої ради НТУ „ХПІ", Протокол №11 від 25.11.2011

Національний технічний університет „ХПІ" 2011

УДК 681.5.015

О. А. КОВАЛЬ, канд. техн. наук, ХНАДУ, Харків

О. В. ВІКТОРОВА, асп., ХНАДУ, Харків

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ДОРОЖНЮ МАШИНУ

На основі статистичних методів, аналізу результату ряду експериментальних досліджень динамічних навантажень дорожньої машини, побудовані та проаналізовані математичні моделі динамічних навантажень на основі методу кускової апроксимації.

Ключові слова: динамічне навантаження, дорожня машина, кускова апроксимація, математичне моделювання.

На основе статистических методов, анализа результата ряда экспериментальных исследований динамических нагрузок дорожной машины, построены и проанализированы математические модели динамических нагрузок на основе метода кусочной аппроксимации.

Ключевые слова: динамическая нагрузка, дорожная машина, кусочная аппроксимация, математическое моделирование.

Based on statistical methods for analyzing a series of experimental studies of dynamic loading of road vehicles are built and analyzed mathematical models of dynamic loads on the basis of piecewise approximation.

Keywords: dynamic load, road vehicles, piecewise approximation, mathematical modeling.

Вступ

Сучасні дорожні машини (ДМ) є складними модульними системами, які повинні забезпечувати високу надійність, продуктивність та якість виконуваних робіт. Для забезпечення цих вимог необхідно щоб ДМ комплектувались діагностичною системою та системою управління. Ефективність роботи діагностичної системи та системи управління визначається достовірністю, точністю, кількістю і періодичністю вимірювальної інформації, яка надходить з бортової вимірювально-інформаційної системи.

Під час виконання робочих операцій на елементи конструкції і робочий орган ДМ впливають динамічні навантаження. Характер даних динамічних навантажень залежить як від типів ґрунтів, так і від режимів роботи ДМ. Характерним для цих динамічних навантажень є те, що вони носять стохастичний характер, з змінними в часі параметрами. Урахувати подібного роду динамічні похибки є складним статистичним завданням. Це обумовлене в першу чергу необхідністю всебічного експериментального вивчення динамічних навантажень ДМ. Проведення експериментальних досліджень пов'язане з рядом труднощів. Велика кількість експериментів вимагає значних економічних витрат. У процесі експериментальних досліджень потрібно розв'язати триєдине завдання: дослідити всі види динамічних навантажень; урахувати режими роботи ДМ; урахувати всі дестабілізуючі фактори викликані умовами експлуатації ДМ. Таким чином,

виникає завдання пошуку шляхів для зниження складності і високої вартості експериментальних досліджень динамічних навантажень ДМ.

Постановка завдання

На основі статистичних методів аналізу результату ряду експериментальних досліджень динамічних навантажень ДМ, які були проведені в ХНАДУ протягом 3-х років (2008 – 2011 р.) побудувати математичні моделі динамічних навантажень на основі методу кускової апроксимації.

Аналіз і результати моделювання

Проаналізувавши експериментально отримані дані про динамічні навантаження на робочий орган і металоконструкцію була встановлена наступна динаміка змін режимів роботи ДМ (автогрейдера Дзк-251): слабонавантажений, середньонавантажений і сильнонавантажений режим [1].

Розглянемо методику побудови математичної моделі для сильнонавантаженого режиму роботи ДМ (рис.1).

Необмежену вибірку виміряних

значень динамічних навантажень $g(t)$ замінимо обмеженою $\overline{g(t_0, t_n)}$.

В основу побудови моделі покладемо метод кускової апроксимації [2]. Відповідно до цього методу розіб'ємо весь інтервал моделювання динамічних навантажень на n достатньо малих інтервалів (t_m, t_{m+1}) , де $m = 0, \dots, n-1$, таким чином, щоб на кожному із цих інтервалів функцію деформації можна було апроксимувати достатньо простими функціями (рис.2).

Детальний аналіз результатів експериментальних досліджень динамічних навантажень ДМ у сильнонавантаженому режимі показав, що для даного динамічного режиму доцільно весь інтервал моделювання розбити на 5 підінтервалів (рис.2).

Експериментально було встановлено, що типова тривалість кожного підінтервала (рис.2), для даного режиму роботи ДМ становить:

$$dt_1 = 11552(мс), dt_2 = 791(мс), dt_3 = 8219(мс), dt_4 = 333(мс), dt_5 = 2176(мс).$$

Таким чином, весь часовий масив буде складатися з підмасивів:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (1)$$

де

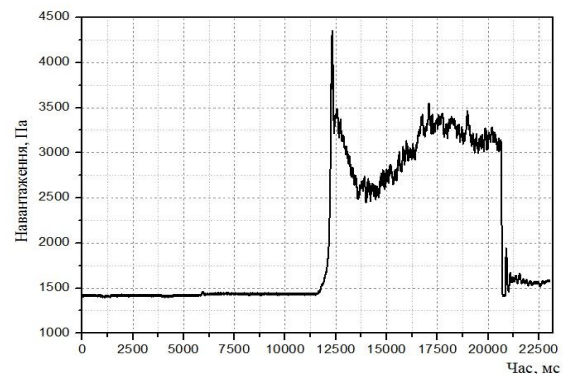


Рис.1. Деформація рами в сильно навантаженому режимі роботи ДМ

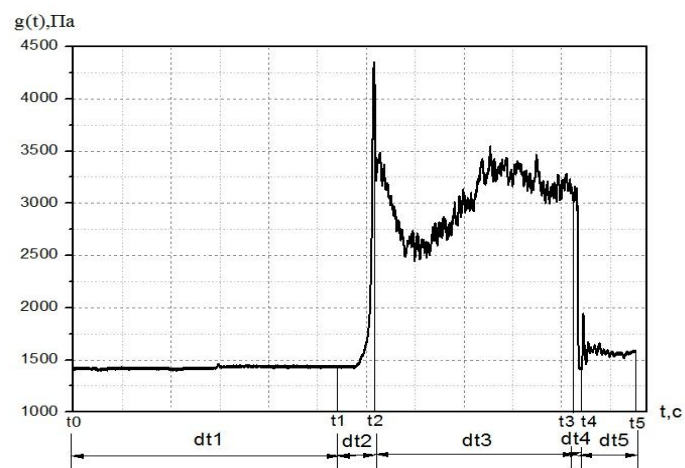


Рис.2. Інтервал моделювання

$$t_1 = 1 : dt_1,$$

$$t_2 = dt_1 + 1 : dt_1 + 1 + dt_2,$$

.....,

$$t_5 = dt_1 + dt_2 + dt_3 + dt_4 + 4 : dt_1 + dt_2 + dt_3 + dt_4 + 4 + dt_5.$$

Відповідно до розмірності часового масиву необхідно моделювати і відповідні динамічні навантаження:

$$g(t) = g_1(t_1) + g_2(t_2) + g_3(t_3) + g_4(t_4) + g_5(t_5) \quad (2)$$

Кожний з підмасивів динамічного навантаження $g_1(t_1), g_2(t_2), \dots, g_n(t_n)$

необхідно моделювати з відповідним законом розподілу амплітуди та фази випадкового впливу динамічних навантажень на робочі органи та конструкцію ДМ.

Набрана трирічна статистика експериментальних досліджень дозволила встановити статистичні параметри динамічних навантажень на кожному з під інтервалів часу, що моделюються.

Так на інтервалі (t_0, t_1) (рис.2) закон розподілу динамічного навантаження $g_1(t_1)$ близький до гаусівського з математичним очікуванням 1400...1430 Па, дисперсією 58 Па. Частота вібрацій рами ДМ при цьому була близько 0.0005 Гц. Тому аналітичний вираз буде мати такий вигляд:

$$g_1(t_1) = 1400 + 5 \sin 2\pi * 0.0005 * t_1 \quad (3)$$

Для другого підінтервалу (t_1, t_2) характерно різке зростання навантаження (пік навантаження) (рис.2). Відношення найбільшого навантаження до середнього перевищує 3.0, а частота таких навантажень перевищує 2...3 протягом 10...15 с. Виходячи з отриманих експериментальних даних встановлено, що дана випадкова величина має рівномірний закон розподілу з математичним очікуванням, яке змінюється в межах від 3000 до 5000 Па. Реалізація випадкової величини $g_2(t_2)$ має вигляд:

$$g_2(t_2) = 1400 + \exp(t_2 / A_1) \quad (4)$$

де A_1 – амплітуда динамічного навантаження при різних типів ґрунтів з середнім значенням 96...103 Па.

Динамічне навантаження $g_3(t_3)$ на підінтервалі (t_2, t_3) характеризується нормальним законом розподілу з математичним очікуванням 800...1125 Па і дисперсією 38 Па. Даному інтервалу властиві затухаючі коливання частотою 0.00016 Гц (рис.2), на які накладаються нормально розподілені випадкові навантаження, коливання яких мають більш високі частоти 0.002...0.032 Гц і значно меншу амплітуду 8...30 Па.

Результуюча модель динамічних навантажень, що впливають на ДМ на підінтервалі (t_2, t_3) буде описуватися наступним виразом:

$$g_3(t_3) = 3330 - \exp(-t_3/A_2) * (A_3 \sin 2\pi * 0.00016 t_3 + 30 \sin 2\pi * 0.002 t_3 + 20 \sin 2\pi * 0.006 t_3 + 8 \sin 2\pi * 0.032 t_3) \quad (5)$$

де A_2 - нормально розподілена випадкова величина (амплітуда динамічних навантажень), з середнім значенням 5000...10000 Па; A_3 - амплітуда нормально розподілених навантажень з математичним очікуванням в межах 800...1125 Па.

На підінтервалі $(\overline{t_3}, t_4)$ помітне значне зниження динамічного навантаження $g_4(t_4)$ на металоконструкцію ДМ, тривалість якого склала близько 333 мс. Модель підмасива динамічного навантаження $g_4(t_4)$ описується рівнянням:

$$g_4(t_4) = 3000 - \frac{1100t_4}{L_4} \quad (6)$$

де L_4 - період випадкових коливань динамічних навантажень, що враховує тип ґрунту з математичним очікуванням в межах 20567...20900 мс.

Далі опишемо аналітичним виразом навантаження ДМ $g_5(t_5)$ на підінтервалі $(\overline{t_4}, t_5)$. Спочатку підінтервалу мають місце короткі сплески (піки навантаження) навантаження, які не перевищують її середнє значення на даному інтервалі. Максимальне значення піків навантаження не перевищувало 1200 Па. Для даного інтервалу також характерні затухаючі коливання частотою від 0.005 Гц до 0.032 Гц. Математична модель, що описує динамічне навантаження на інтервалі $(\overline{t_4}, t_5)$ буде мати вигляд:

$$g_5(t_5) = 1550 + \exp(-t_5) + \exp(-t_5 / A_4) * (350 \cos 2\pi * 0.002t_5) + 25 \sin 2\pi * 0.005t_5 + 8 \sin 2\pi * 0.032t_5 \quad (7)$$

де A_4 - амплітуда нормально розподілених динамічних навантажень при різних типів ґрунтів з математичним очікуванням в межах 400...1200 Па.

Результати математичного моделювання з використанням пакета Matlab представлені на рис.3.

Як видно з рис.3. результати моделювання динамічних навантажень досить близькі до результатів експериментальних досліджень.

Достовірність результатів моделювання оцінювалася статистичним методом. У якості критеріїв адекватності було обране відхилення середнього значення та середньоквадратичного відхилення модельованих навантажень від експериментально отриманих. Результати статистичного оцінювання критеріїв

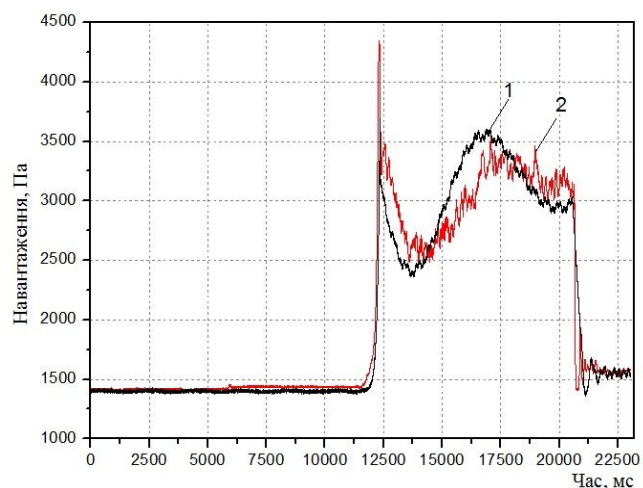


Рис.3. Результати вимірювання і математичного моделювання динамічних навантажень: 1 – результати математичного моделювання динамічних навантажень, 2 – експериментально виміряні динамічні навантаження

адекватності показують, що з імовірністю 0.95 результати моделювання динамічних навантажень, що впливають на ДМ відповідають результатам експериментальних досліджень.

Висновки

Таким чином, запропонована методика математичного моделювання динамічних навантажень, що впливають на робочі органи ДМ дозволяє без значних економічних витрат провести моделювання динамічних навантажень у різних режимах роботи ДМ, різних типів ґрунтів і різних кліматичних умовах.

Результати моделювання можуть бути використані як на етапі конструювання ДМ і її бортовій вимірювально-інформаційній системі, так і в процесі поточної експлуатації для прогнозування надійності систем і вузлів, міцності рами ДМ.

Список літератури: 1. Вікторова, О. В. Використання м'яких обчислень в інтелектуальних інформаційно-вимірювальних системах дорожніх машин [Текст] / О. В. Вікторова, А. О. Коваль // Вестник ХНАДУ : сб. науч. тр. – Харьков : ХНАДУ. – 2011. – № 53. – С. 3 – 8. 2. Манаков, А. А. Основы математического моделирования радиотехнических систем: учеб. пособие [Текст] / А. А. Манаков. – СПб. : ГУАП, 2005. – 100 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 621.792.8:519.3

А.А. СВЯТУХА, канд.техн.наук, доц., УИПА, Харьков

И.Б. ПЛАХОТНИКОВА, ст. преп., УИПА, Харьков

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ПРОЧНОСТЬ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, СОБРАННЫХ ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ

У роботі розглядається принцип визначення характеристик міцності zdeформованого проміжного шару між спряженими поверхнями з'єднань з натягом, зібраних тепловим способом.

Ключові слова: Складання, з'єднання, міцність, покриття, розрахунок.

В работе рассматривается принцип определения прочностных характеристик сдеформированного промежуточного слоя между сопряжёнными поверхностями соединений с натягом, собранных тепловым способом.

Ключевые слова: Сборка, соединения, прочность, покрытия, расчёт.

In this work we offer to consider about the principle of definition of durability's characteristics of a deformed intermediate layer between the interfaced surfaces of connections with a tightness, collected by a thermal method.

Key words: Assembly, connections, durability, coverings, calculation

Постановка проблемы

Прочность соединений с натягом, собранных тепловым методом с использованием различных покрытий охватываемой детали (вала) во многом определяется прочностными свойствами сдеформированного слоя [1]. В настоящее время большинство предлагаемых расчётов прочности скрепления

деталей неподвижных цилиндрических соединений сводится к определению контактных давлений и касательных напряжений без промежуточного слоя [2]. Поэтому определение степени влияния имеющегося в соединении покрытия на прочность скрепления деталей является актуальной задачей и представляет практический интерес. Одним из главных параметров несущей способности соединений является усилие относительного сдвига деталей. Очевидно, что относительный сдвиг деталей происходит в результате разрушения сдеформированного в зоне их контакта промежуточного слоя. Поэтому, зная компоненты тензора напряжений промежуточного слоя, можно определить различные его прочностные характеристики, в частности усилие сдвига F_c .

Изложение основного материала

Рассмотрим схему теплового соединения втулки с валом, показанную на рис.1. Усилие скрепления деталей соединения, собранного тепловым способом с использованием покрытий зависит от геометрии деталей соединения, свойств

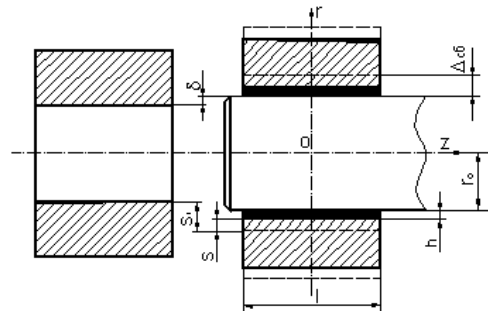


Рис.1. Схема соединения втулки с валом

сдеформированного слоя и его толщины h . Толщину слоя определим исходя из динамики формирования соединения. Предположим, что скорости расширения втулки в процессе нагрева и её сближения с поверхностью вала при остывании одинаковы и равны V_o . Путь, пройденный посадочной поверхностью втулки при расширении до необходимого сборочного зазора, обозначим через S_l , а путь, пройденный этой же поверхностью при сближении с валом до окончательного формирования промежуточного слоя толщиной h , через S . Тогда:

$$S_l = V_o \cdot t_l; \quad S = V_o \cdot t; \quad (1)$$

где: t_l – время расширения втулки; t – время посадки её на вал.

Из геометрии соединения видно, что:

$$V_o \cdot t_l = \delta + \Delta_{c6}; \quad (2)$$

где: δ - натяг соединения; Δ_{c6} – сборочный зазор.

Так как скорости расширения и посадки втулки равны, то:

$$S = (\delta + \Delta_{c6}) \cdot q \quad (3)$$

где: $q = t / t_l$ – коэффициент формирования соединения.

Образующийся между сопряжёнными поверхностями промежуточный сдеформированный слой толщины h будем считать постоянным по длине и радиусу соединения. Величину h/r_o назовём относительной толщиной слоя и обозначим через ε . Так как из рис.1

$h = \Delta_{c6} - S$, то $h = \Delta_{c6} - (\delta + \Delta_{c6}) \cdot q$ тогда:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{c6}}{r_o} - \frac{\delta + \Delta_{c6}}{r_o} \cdot q \quad (4)$$

Для определения физических свойств слоя введём параметр, характеризующий жёсткость промежуточного слоя, находящегося между

сопряжёнными поверхностями и воспринимающего давление остывающей втулки с усилием P , являющимся функцией от времени остывания t . Допустим, что при усилии P_1 слой толщиной h_1 имеет поверхность S_1 , а при изменении усилия до P_2 сжатый слой толщины h_2 имеет поверхность S_2 . Абсолютную величину отношений приращений $[\Delta P] = P_2 - P_1$ $[\Delta S] = S_1 - S_2$ назовём коэффициентом жёсткости γ промежуточного слоя:

$$\gamma = \left[\frac{\Delta P}{\Delta S} \right] \quad (5)$$

Для рассматриваемого цилиндрического соединения имеем:

$$\gamma = \frac{\Delta P}{2\pi l(h_1 - h_2)} \quad (6)$$

Из анализа (6) следует, что коэффициент жёсткости γ является величиной векторной, так как усилие $\vec{P}$ определяется величиной и направлением составляющих сил по осям r , z и ϕ . Поэтому $\vec{P} = \vec{P}_r + \vec{P}_z + \vec{P}_\phi$.

Если за параметр функции $\vec{P}$ выбрать изменение поверхности S в процессе деформации, то $\vec{P} = \vec{P}(S)$. Предел отношения

$\frac{\Delta P}{\Delta S} \rightarrow \frac{dP}{dS}$ если, $\Delta S \rightarrow 0$ тогда имеем $\frac{dP}{dS} = \gamma$ и с учётом координат r, z, ϕ

$$\frac{d\vec{P}}{dS} = \frac{d\vec{P}_r}{dr} + \frac{d\vec{P}_z}{dz} + \frac{d\vec{P}_\phi}{d\phi} \quad (7)$$

Если ввести единичные векторы в направлении r, z, ϕ соответственно $\vec{e}_r, \vec{e}_z, \vec{e}_\phi$, то составляющие вектора γ в последнем уравнении можно записать следующим образом:

$$\frac{d\vec{P}_r}{dS} = E\vec{e}_r; \frac{d\vec{P}_z}{dS} = \mu\vec{e}_z; \frac{d\vec{P}_\phi}{dS} = G\vec{e}_\phi, \quad (8)$$

где E, μ, G – модули упругости материала сформированного слоя в направлении r, z, ϕ . Теперь абсолютная величина γ может быть определена как:

$$\gamma = \sqrt{E^2 + \mu^2 + G^2} \quad (9)$$

Для нахождения величины γ при фиксированных значениях сформированного промежуточного слоя $\varepsilon = \frac{h}{r_0}$ используем энергетические характеристики процесса соединения. Обозначим энергию расширенной втулки W , которая расходуется на энергию деформирования слоя W_c и энергию тепловых потерь, W_n то есть

$$W = W_c + W_n \quad (10)$$

Пренебрегая энергией тепловых потерь W_n ввиду их малости, считаем, что энергия расширенной втулки полностью идёт на формирования слоя в соединении с натягом.

Расширяясь при нагреве на величину $\Delta_{c\phi} + \delta$, втулкой выполняется работа, которую можно вычислить следующим образом. Очевидно, что изменение работы пропорционально изменению усилия dP

$$dW = (\Delta_{c\phi} + \delta) dP \quad (11)$$

Для нахождения dP втулки воспользуемся следующими соображениями. Предполагая, что втулка, нагреваясь и остывая, эквивалентна некоторой пружине, обозначим её жёсткость через C . Изменение внутренней поверхности втулки после нагревания обозначим через $\Delta S \rightarrow dS$. Далее считаем, что величина усилия, разжимающего и сжимающего втулку, пропорциональна изменения поверхности dS , то есть $dP = C \cdot dS$.

Рассматривая втулку как состоящую из суммы n колец, упругость каждого из которых соответствует жёсткости C_i , запишем $C_i = C$.

Воспользуемся формулой, которая выражает изменение диаметра i -го кольца толщины Δh_i в зависимости от модуля упругости материала втулки E , который одинаков для всех n колец

$$\Delta d_i = \frac{N \cdot d_i^2}{\Delta h_i \cdot E} \quad \text{или} \quad \Delta p_i = \frac{2 N p_i^2}{\Delta h_i E}, \quad (12)$$

где N – давление, вызванное расширением i -го кольца; p_i – радиус i -го кольца. Умножая равенство (12) на ΔS получим:

$$\Delta p_i \cdot \Delta S = \frac{2 N \cdot p_i^2 \cdot \Delta S}{\Delta h_i \cdot E} \quad (13)$$

Очевидно, что $N \cdot \Delta S = dP = C_i \cdot dS = C_i \cdot \Delta S$, тогда:

$$\Delta p_i = \frac{2 C_i \Delta S \cdot p_i^2}{\Delta h_i \cdot E} \quad (14)$$

Для i -го кольца толщиной Δh_i изменение коэффициента жёсткости можно записать в виде:

$$dC_i = \frac{\Delta h_i \cdot E \cdot dp}{2 p^2} \quad (15)$$

Интегрируя в пределах от r_o до r получим:

$$C_i = \frac{\Delta h_i \cdot E}{2} \int_{r_o}^r \frac{dp}{p^2} = \frac{\Delta h_i \cdot (r - r_o)}{2 r_o \cdot r} \quad (16)$$

Суммируя последнее равенство по i , получим:

$$C = \frac{H E \cdot (r - r_o)}{2 r_o \cdot r}, \quad (17)$$

где H – толщина втулки; r_o – начальный внутренний радиус втулки. Жёсткость $C(r)$ может быть найдена для любого r .

Если начальный наружный радиус втулки $R_H = r$, то:

$$C = \frac{H^2 \cdot E}{r_o \cdot R_H} \quad (18)$$

Энергию втулки W можно определить по формуле:

$$W = \frac{\Delta c_0 + \delta}{r_o} \int_V C(r) dV, \quad (19)$$

где $dV = r dr d\varphi dz$. Подставляя в формулу (19) значение C из (17) получим:

$$W = \frac{\Delta c_0 + \delta}{r_o} 2\pi l \int_{r_o}^{R_H} \frac{E H (r - r_o)}{r_o \cdot r} r dr \quad (20)$$

Интегрируя окончательно имеем:

$$W = \frac{\pi l E H^3}{r_{o2}} (\Delta_{c\delta} + \delta) \quad (21)$$

Энергия сжимаемого слоя W_c может быть определена по формуле:

$$W_c = 2\pi l \int_{r_o}^{r_o+h} r \sigma_r dr \quad (22)$$

Подставляя значение σ_r в формулу (22), а затем интегрируя и пренебрегая величинами порядка ε^2 и выше, получим:

$$W_c = 2\pi l \gamma \frac{V_o \cdot t_2 (1 + \varepsilon)}{r_o^2 (2 + \varepsilon)} \quad (23)$$

Так как $W = W_c$, а $\varepsilon = \frac{h}{r_o}$, то коэффициент жёсткости λ будет:

$$\lambda = \frac{EH^3 (\Delta_{c\delta} + \delta) (2r_o + h)}{8r_o (r_o - \delta)^2 (\Delta - h) (r_o + h)} \quad (24)$$

На графике (рис.2) показана зависимость между коэффициентами жёсткости и толщиной сдеформированного слоя в соединении вал-втулка с посадочным диаметром 40мм и наружным диаметром 80мм для различных натягов. Возрастание значения λ с увеличением толщины сдеформированного слоя во всём диапазоне натягов свидетельствует о более высоких физико-механических свойствах используемого покрытия.

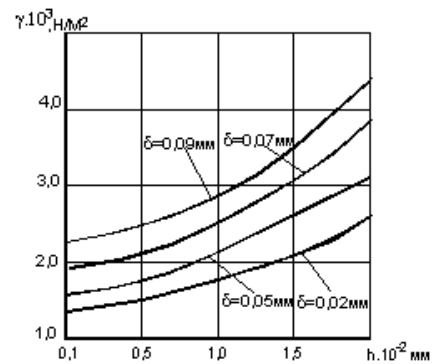


Рис.2. График зависимости коэффициента жёсткости от толщины сдеформированного слоя

Анализ графика показывает, что с увеличением давления на промежуточный слой в соединении его прочностные свойства возрастают.

Зная прочностную характеристику слоя γ и напряжения $\sigma_{гз}$, которые находятся интегрированием дифференциальных уравнений равновесия осесимметричного напряжённого состояния с учётом линейных соотношений между деформациями и напряжениями в локальной области, можем найти усилие сдвига F_c по формуле:

$$F_c = \frac{\pi \cdot l^2 \gamma \cdot \delta (2 + \varepsilon)}{28\varepsilon} [2(1 + \varepsilon)^2 - (2 - \varepsilon)] \quad (25)$$

Для подтверждения полученной зависимости проведена серия экспериментальных исследований по тепловой сборке соединений с натягом с использованием в качестве покрытий различных сочетаний композиционных смесей. С этой целью были собраны несколько партий соединений диаметром посадочной поверхности 40мм и длиной посадки 60мм в диапазоне натягов от 0,015 до 0,090мм. Валы и втулки с наружным диаметром 80мм изготавливались из нормализованной стали Ст.45 с исходной шероховатостью 1,25 и 2,5. Сборка осуществлялась путём свободного введения вала с нанесённым тонким слоем вязкой композиционной смеси в нагретую до температуры 260 – 280°C втулку.

После сборки и выдержки в течение нескольких суток проводились испытания прочности соединений путём выпрессовки вала с фиксацией усилия срыва и записью диаграмм.

Выводы

Испытания показали удовлетворительное совпадение усилий срыва, полученных расчётным путём и экспериментально. Незначительное расхождение наблюдалось для композиционных покрытий, включающих порошки мягких и пластичных металлов только в области повышенных натягов с приближением коэффициента жёсткости слоя к единице. Однако в связи с тем, что расчётные значения усилия сдвига в этом случае несколько ниже экспериментальных, то полученная зависимость применима для любого диапазона натягов, так как всегда обеспечивает некоторый запас прочности.

Список литературы: 1. Кравцов М.К. Промежуточные среды в соединениях с натягом / М.К. Кравцов, А.А. Святуха, В.В. Чернов. -Харьков: Изд-во Штрих. 2001.-200 с. 2. Пономарёв С.Д., Бидерман В.А., Лихарёв К.К. и др. Расчёты на прочность в машиностроении. М. Машгиз, 1958, т. 2,3.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 629.735.083.02.06.(045)

І.О. ЛАСТІВКА, канд.техн.наук, зав.каф., НАУ, Київ

ГІСТЕРЕЗИС ВІДРИВНИХ ТЕЧІЙ

У роботі розглянуто явище гістерезису відривних течій при обтіканні циліндричного тіла, прямого ізольованого крила моделі літака, дифузорної решітки профілів і ступеня осьового компресора газотурбінного двигуна, проведено аналіз структури і характеристик відривних течій в залежності від швидкості потоку і кутів атаки та напрямку зміни їх значень.

Ключові слова: гістерезис, відривна течія.

В работе рассмотрено явление гистерезиса отрывных течений при обтекании цилиндрического тела, прямого изолированного крыла модели самолета, дифузорной решетки профилей и ступени осевого компрессора газотурбинного двигателя, проведен анализ структуры и характеристик отрывных течений в зависимости от скорости потока и углов атаки и направления изменения их значений.

Ключевые слова: гистерезис, отрывное течение.

The work considers the phenomena of hysteresis of separated flows along the flow of a cylindrical body, aircraft model with an isolated straight wing, a diffuser lattice of profiles and the stage of axial compressor turbine engine. The structure and characteristics of separated flows, depending on the flow velocity and angle of attack and direction of their values are analyzed.

Keywords: hysteresis, separated flows

Вступ

Структура і характеристики відривних течій істотно залежать від значень їх кінематичних параметрів (швидкості, кутів атаки) і параметрів потоку (тиску, густини, температури), а також від напрямку їхньої зміни в межах певного інтервалу значень. Це означає, що при одній і тій же сукупності параметрів можливі різні відповідні аеродинамічні характеристики. Однієї із причин цього

явища є аеродинамічний гістерезис, обумовлений переформуванням структури обтікання при зміні хоча б одного з таких параметрів, як швидкість незбуреного потоку, кут атаки, число Рейнольдса, а в умовах нестационарного потоку – частота й амплітуда коливань.

У даній роботі ставитися задача проаналізувати явище гістерезису відривних течій при обтіканні циліндричного тіла, ізольованого крила літака, дифузornoї решітки профілів і ступеня осьового компресора газотурбінного двигуна з метою подальшого врахування впливу ефекту гістерезису при розрахунку характеристик компресора.

Ефект гістерезису

Розглянемо обтікання циліндричного тіла, поздовжня вісь якого розташовується по напрямку потоку. Як при дозвукових, так і при надзвукових швидкостях обтікання супроводжується утворенням зон відривних течій за лобовою частиною. Зі зміною числа Маха M_∞ структури обтікання трансформуються [1]. При малих дозвукових швидкостях поблизу кромки циліндра (точка твірної циліндра біля його основи, рис. 1) потік відривається з утворенням незамкненої на поверхні тіла зони відривної течії 1. Цьому режиму відповідає структура I і ділянка а-б на графіку функціональної залежності

$\bar{p}^* = \frac{p^*}{p_\infty^*} = f(M_\infty)$ у точці А (p_∞^* – повний тиск незбуреного потоку, p^* – повний тиск у зоні відриву потоку). При збільшенні числа M_∞ в області дозвукових швидкостей зона відривної течії 1 притискується до циліндричної поверхні, її поперечні розміри й тиск у ній зменшуються (структура II, ділянка б-в кривої тиску). Подальший ріст швидкості викликає зміни у зовнішній частині структури обтікання. Перед тілом і збоку зовнішньої межі зони відриву з'являються стрибки ущільнення 2 і 3, але незамкненість відривної течії 1 зберігається (структура III). Тиск за точкою А твірної вирівнюється (ділянка в-г).

Майже миттєва перебудова структури обтікання відбувається при деякому критичному числі $M = M_{кр1} \approx 1,14$ (ділянка г-д на кривій тиску), коли замість розвиненої відривної течії, що зникається з слідом, з'являється локальна зона відриву 4 у носовій частині циліндра. Це супроводжується утворенням поблизу обтічної поверхні системи стрибків ущільнення 3 і 5, обумовлених приєднанням локальної відривної течії й гальмуванням

зовнішнього потоку (структура надзвукової течії IV, ділянка д-е). Подальше збільшення швидкості в незбуреному потоці не змінює структури обтікання тіла.

Зі зменшенням числа M_∞ до значення $M_\infty = 1$ тип структури обтікання зберігається, тому що відсутній збурюючий фактор, що призводить до

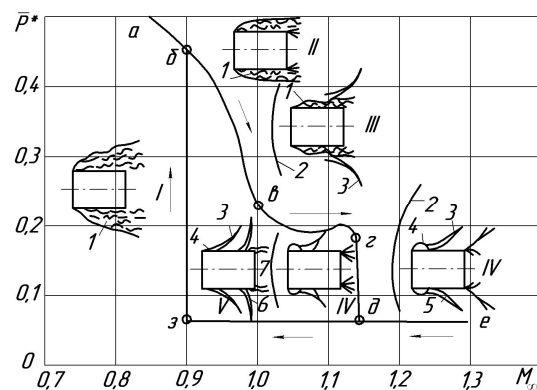


Рис. 1 Структура обтікання і тиск на циліндричній поверхні поблизу кромки при збільшенні й зменшенні числа M_∞

переформування структури потоку. Однак при $M_\infty < 1$ такий фактор з'являється. Відомо, що гальмування надзвукового потоку відбувається через стрибок ущільнення. Якщо швидкість обтікання стає нижчою за швидкість звуку, то місцева надзвукова течія переходить у дозвукову через прямий стрибок ущільнення 6 (структура V). Взаємодія цього стрибка ущільнення із примежовим шаром на поверхні тіла призводить до його відриву, початок якого зі зменшенням швидкості наближається до носової частини. У момент злиття циркуляційної зони 4 і зони відриву 7, викликаній стрибком 6, структура течії перебудовується, тиск різко зростає (ділянка з-б на кривій залежності тиску від числа M_∞ в точці А) і відрив, що починається в точці А твірної, поширюється на всю поверхню циліндра. Переформування в такій структурі течії здійснюється при критичному числі Маха $M = M_{кр2} \approx 0,9$, меншому за число $M_{кр1}$.

Таким чином, при різному напрямі зміни значень чисел Маха – при збільшенні M_∞ від 0,9 до 1,14 і при зменшенні від 1,14 до 0,9 – мають місце неоднакові структури обтікання тіла, тому що перебудова структур течій при прямій і зворотній зміні чисел M_∞ походить від різного початкового стану системи й для виведення із цього стану потрібна додаткова енергія, що забирається з набігаючого потоку.

Неоднозначність структур течії проявляється також зі зміною кута атаки. Розглянемо це на прикладі обтікання прямого крила великого подовження моделі літака [2].

З ростом кута атаки літака області відривного обтікання на крилі змінюють свої геометричні характеристики, взаємодіють із течіями на інших частинах поверхні моделі літака. Ця взаємодія здійснюється із запізнюванням стосовно змін кінематичних параметрів і по-різному проявляється при зміні кутів атаки: при збільшенні кутів атаки (прямій хід) відбувається руйнування вихідних структур, а при їхньому зменшенні (зворотній хід) – відновлення вихідних структур. Це призводить до залежності аеродинамічних коефіцієнтів від напрямку зміни кута атаки, або, іншими словами, до гістерезисного характеру залежностей аеродинамічних сил і моментів від кута атаки. Перехідна область кутів атаки, у якій відбувається руйнування безвідривного обтікання й устанавлюється розвинена відривна течія, може характеризуватися наявністю декількох стійких відривних течій. При зміні структур течії спостерігається, наприклад, різке зменшення значень коефіцієнта підйімальної сили c_y . При зворотному відхиленні крила моделі літака можуть існувати кути атаки, при яких спостерігається майже стрибкоподібне збільшення аеродинамічних сил. Ці кути відрізняються від кутів атаки, при яких спостерігається різке зменшення величини c_y при прямому відхиленні крила. Таким чином, гістерезис в аеродинамічних характеристиках крила моделі літака може бути множинним і складатися з декількох підобластей, розділених між собою внутрішніми межами.

На рис. 2 наведені залежності коефіцієнтів підйімальної сили $c_y(\alpha)$ і моменту $m_z(\alpha)$ для моделі літака з прямокутним крилом з подовженням $\lambda=10$, з відносною товщиною профілю $\bar{C}=17\%$, число Рейнольдса $Re=0.33 \cdot 10^6$, отримані при зміні

кутів атаки в діапазоні $-3^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$. Очевидно, що поза відрізком кутів атаки $8,5^\circ \leq \alpha \leq 17^\circ$ залежності є однозначними, а усередині цього відрізка –

двозначними. Верхня межа двозначної області утворюється при збільшенні кута атаки від $\alpha = -3^\circ$ до $\alpha = 20^\circ$, а нижня межа – при зменшенні кута атаки від $\alpha = 20^\circ$ до $\alpha = -3^\circ$.

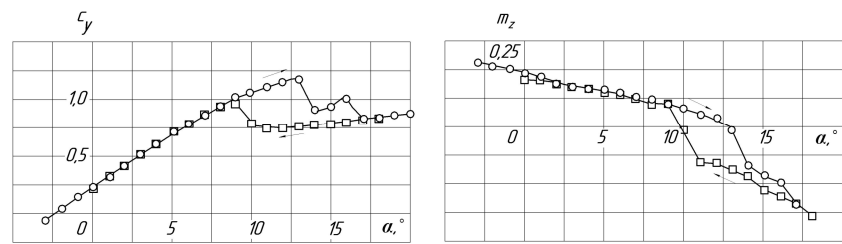


Рис.2. Залежності $c_y(\alpha)$ і $m_z(\alpha)$ моделі літака з прямим крилом при збільшенні й зменшенні кута атаки [2]

Розглянемо ефект

гістерезису в характеристиках дифузornoї решітки профілів та ступені осьового компресора. В решітках аеродинамічних профілів, що обтікаються періодично нерівномірним потоком, при певних умовах можливі періодичні переходи решіток з докритичних на надкритичні кути атаки та навпаки. Ці переходи супроводжуються проявом ефекту гістерезису, що характеризується поверненням компресornoї решітки від зривного режиму до беззривного, причому це повернення відбувається не по нормальній характеристиці (рис. 3, крива а), а по зривній (крива б) [3]. Внаслідок цього кут повороту потоку $\Delta\beta = f(i)$ (рис. 3) є функцією, яка набуває різних значень при прямому і зворотному ході на певному відрізку кутів атаки.

Дослідження відривних режимів роботи ступенів осьового компресора показали [3, 4], що для кожного значення частоти обертання ротора також мають місце дві різні характеристики – беззривна (крива а) і зривна (крива б) на рис. 4.

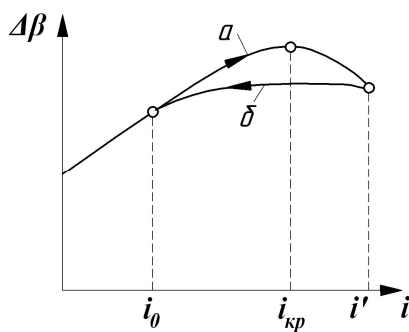


Рис.3 Гістерезис характеристик дифузornoї решітки

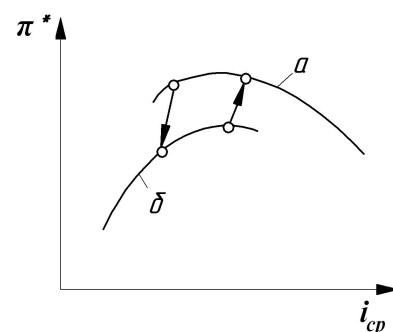


Рис.4 Гістерезис у характеристиці ступеня осьового компресора

Беззривна напірна лінія (а) характеризує обтікання лопаткових вінців на докритичних режимах при відсутності розвинених зривів потоку. Зривна характеристика (б) відповідає усталеному зривному обтіканню лопаткового вінця. Перехід зі зривної характеристики на беззривну відбувається при менших кутах атаки, ніж кути, при яких має місце початок розвиненого зриву потоку. Це явище, відоме як гістерезис у характеристиках ступеня компресорів, має у своїй основі певні особливості при обтіканні компресornoї решіток на докритичних і надкритичних режимах.

Таким чином, нестационарне обтікання ізолюваного крила, компресornoї решіток, лопаткових вінців ступенів осьового компресора, коли змінюються кінематичні параметри потоку, супроводжується проявом гістерезисного ефекту,

який суттєво впливає на аеродинамічні характеристики ізолюваних профілів та лопаткових вінців. В основі прояву гістерезису лежить вплив в'язкісних ефектів на течію у пристінному (примежовому) шарі на поверхні крила та лопаток у лопаткових вінцях компресора.

Висновок

Оскільки гістерезисний ефект має суттєвий вплив на аеродинамічні характеристики ізолюваного профілю, течію у дифузорних каналах компресорних решіток та характеристики ступеня осьового компресора, достатньо актуальною є задача щодо визначення узагальнених параметрів, що пов'язують ефект гістерезису в цих елементах.

Список літератури: 1.Краснов Н.Ф. Аэродинамика отрывных течений [Текст] / Н.Ф. Краснов, В.Н. Кошовой, В.Т. Калугин – М.: Высшая школа, 1988. – 351 с. 2. Колин И.В. Гистерезис в аэродинамических характеристиках модели самолета с прямым крылом большого удлинения [Текст] / И.В. Колин, В.К. Святодух, Т.И. Трифонова, Д.В. Шуховцов // Журнал технической физики, 2006, том 76, вып.4. – С.136 – 139. 3. Терещенко Ю.М. Аэродинамика компрессорных решеток [Текст] / Ю.М. Терещенко – М.: Машиностроение, 1979. – 120с. 4. Терещенко Ю.М. Расширение диапазона бесрывного течения в компрессорах газотурбинных двигателей [Текст] / Ю.М. Терещенко, И.А. Ластивка, Л.Г. Волянская, И.Ф. Кинащук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий // Научный журнал. – Харьков: Технологический центр, 2010.– № 4/7 (46). – С.12-15.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК621.74.04:621.746.3

Т.Л.ТРИНЕВА, канд.техн.наук, гл.конст., ЧАО “КТБ верификационного моделирования и подготовки производства”, Харьков

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С УЧЕТОМ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА УСТАНОВКЕ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ «VANGUARD HS»

Надано загальний аналіз можливостей технологій швидкого прототи-пування в галузі виготовлення ливарного оснащення. Наведені приклади видів ливарного оснащення, а також особливості виготовлення, звідси і проектування виробів, у тому числі габаритних, на установках даних тех-нологій.

Ключові слова: модельне оснащення, технології швидкого прототи-пування, поліамідні матеріали, селективне лазерне спікання, стереолітогра-фія.

Дан общий анализ возможностей технологий быстрого прототипиро-вания в области изготовления литейной оснастки. Приведены примеры ви-дов литейной оснастки, а также особенности изготовления, отсюда и про-ектирования изделий, в том числе габаритных, на установках данных тех-нологий.

Ключевые слова: модельная оснастки, технологии быстрого прототи-пирования, полиамидные материалы, селективное лазерное спекание, сте-реолитография.

The global analysis of possibilities of technologies of rapid prototyping is given in area of making of the casting rigging. Examples of kind of the casting rigging, and also features of making, are made from here and planning wares, including overall, on the options of data of technologies.

Keywords: model rigging, technologies of rapid prototyping, polyamide materials, selective laser to bake, stereolithography.

Внедрение в производство новых технологий видется не мыслимым без использования неограниченно-уникальных, накопленных в процессе отработки традиционных технологий по получению качественных отливок. Поиск способов быстрого, качественного, сравнительно, недорогого изготовления литейной оснастки для получения качественных отливок, является в настоящее время одним из актуальных вопросов литейного производства.

Одними из прогрессивных технологий, вошедших в машиностроительное производство, как технологий быстрого и качественного с высокой точностью изготовления изделий, являются технологии быстрого прототипирования. Внедрение высоких технологий в производство обеспечило предприятиям Украины значительную экономию времени и денежных средств, затрачиваемых на подготовку производства для освоения новых изделий, позволив существенно сократить сроки и стоимость дизайнерских и конструкторских работ по изготовлению технологической оснастки, а также повысить качество выпускаемой продукции.

Технологии быстрого прототипирования позволяют сократить срок изготовления изделия (модели) в 10-100 раз за счет быстрого экономичного преобразования в изделие (модель) результатов автоматизированного проектирования.

Применение изделий, полученных на установке Vanguard HS из полиамидных материалов Dura Form PA и Dura Form GF хорошо зарекомендовало себя в качестве модельной оснастки; пресс-форм для получения выплавляемых моделей, резиновых изделий, так и в качестве моделей для дизайнерских проработок, а также для функциональных изделий для отработки рабочих процессов.

На рис.1 - 4 показаны габаритные функциональные изделия, размером ~ 700×400×900мм для отработки рабочих процессов на этапах проектирования изготовления и полностью готового к приемке.

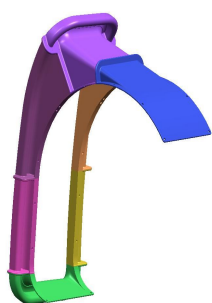


Рис.1
Функциональное
изделие в
компьютерном
варианте

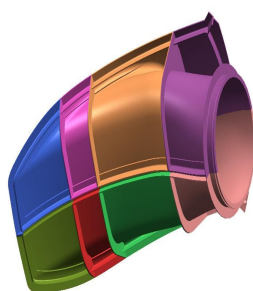


Рис.2
Функциональное
изделие в
компьютерном
варианте



Рис.3 Функциональное изделие
«выращенное» на установке Vanguard
HS

На рис.5 - 6 показаны габаритные функциональные изделия размером ~ Ø750×900мм для отработки рабочих процессов. На рисунках видны места сочленения частей данных изделий, которые выполнены в виде буртиков. Это так называемые технологические, рекомендуемые дополнения к конструкции

габаритного изделия, которые служат как места-ми крепления отдельных частей, с одной стороны, а с другой стороны предохраняют изделие от коробления.

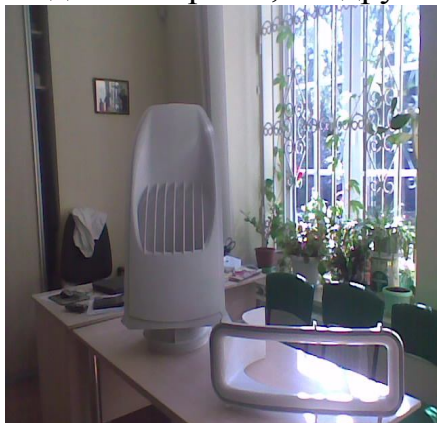


Рис.4 Функциональные изделия из полиамидного порошка «выращенное» на установке Vanguard HS, подготовленное к приемке



Рис.5 Функциональные изделия из полиамидного порошка «выращенное» на установке Vanguard HS, в сборе



Рис.6 Функциональные изделия из полиамидного порошка «выращенное» на установке Vanguard HS, подготовленное к приемке

Не маловажной особенностью при проектировании изделий, которые планируется изготавливать на установках технологий быстрого прототипирования является учет поправочного коэффициента - K_0 , который был установлен в результате контрольных замеров на ряде заказываемых изделий на протяжении нескольких лет. Установлено, что численные значения размерных отклонений по осям X, Y, Z не одинаковы и их размерные отклонения зависят от расположения изделий на столе построения, а также от материала оснастки. Для коррекции этих отклонений введено понятие поправочного коэффициента отклонения и определены его численные значения, учитывая которые при проектировании, можно достигнуть значительного повышения точности изготовления литейной оснастки.

Значения поправочного коэффициента отклонений - K_0 показаны в табл. 1, которые рекомендуется использовать при проектировании литейной оснастки в зависимости от использования способа технологий быстрого прототипирования.

Значения поправочного коэффициента отклонений - K_0 , выбираются в зависимости от выбранного способа изготовления, при этом большие значения, по горизонтальным осям, выбираются для размеров до 100мм, а меньшие - на максимальные размеры стола построения выбранного способа.

Поправочный коэффициент отклонений - K_0 , вычитается при использовании метода построения - стереолитография на установке SLA-5000, для размеров, которые предполагается размещать на столе построения по оси X, т.к., из приведенного примера значений табл. 1 видно, что значения размеров после построения превышают значения размеров электронной модели, что связано, по всей вероятности с термосиловыми взаимодействиями присутствующими на момент построения изделия, усилия которых распределены неравномерно.

Таблица 1. Параметры поправочного коэффициента отклонений

Наименование установок	Материал	Гарантированный допуск, мм	Поправочный коэффициент отклонений – K_o , %		
			X	Y	Z
SLA-5000	Фотополимерная смола	$\pm 0,05$	$-0,05 \div -0,25$	$0,05 \div 0,15$	$0,10 \div 0,30$
Vanguard HS	Dura Form, Dura Form GH (полиамидный порошок)	$\pm 0,40$	$0,80 \div 1,30$	$0,15 \div 0,45$	$1,15 \div 2,30$
	ST-100 (KM_{Fe-Cr}), A6 (KM_{Fe-W}) (металлический порошок)	$\pm 0,30$	$0,80 \div 1,10$	$0,35 \div 0,60$	$1,10 \div 2,30$

По высоте, значения выбираются следующим образом:

На размеры литейной оснастки «выращенной» из материала фотополимерная смола, установка SLA-5000, и материала - Dura Form PA, Dura Form GF- полиамидный порошок, Vanguard HS, меньшие значения поправочного коэффициента отклонений выбираются для больших размеров, приближающихся к максимальным значениям стола построения, а большие значения выбираются для размеров до 100мм.

На размеры литейной оснастки «выращенной» из материала КМ на установке Vanguard HS меньшие значения поправочного коэффициента отклонений выбираются для размеров до 100мм, а большие значения выбираются для размеров приближающихся к максимальным значениям стола построения установки.

Таким образом, определение величины поправочного коэффициента отклонений - K_o , учитывающего специфику «выращивания» твердотельных изделий на разных установках технологий RP, обусловлено необходимостью обеспечения размерной точности и соблюдения правильной геометрии формообразующих элементов литейной оснастки.

Из вышеприведенных примеров видно, что величина поправочного коэффициента отклонений - K_o , зависит не только от метода и материала изготавливаемой оснастки, а и от совпадения осей расположения изделия (элементов сборки) на столе построения установки.

Варианты оптимизации процессов построения изделий «выращенных» с применением технологий быстрого прототипирования, а также предложения по внедрению в производство их возможностей посвящены работы авторов [1-9].

Учитывая поправочный коэффициент - K_o , при проектировании изделий, необходимо соблюдать еще одно правило, а именно при установке деталей одной сборки установку их на столе построения необходимо производить в одной оси, соответственно учтенному поправочному коэффициенту. Соблюдая

вышеприведенные условия гарантирована собираемость изделия. На Рис.7 приведена «выращиваемая» оснастка и показано расположение ее на столе построения.

Таким образом, технологии быстрого прототипирования - не исключение, и как все другие технологии тоже имеют свои особенности и возможности, учет которых поможет использовать, данные технологии, максимально эффективно совместно с традиционными

технологическими процессами изготовления литейной оснастки.



Рис. 7 Промодели для пресс-формы на изделие «Бачок омывательный»

Список литературы: 1. Якунин В.П. Лазерная стереолитография - безотходная технология быстрого послойного изготовления изделий из жидких полимеров // Литейное производство. - 1999. № 7. - С. 5-6. 2. Вермель В.Д., Козлов В.А., Шустов А.А. Возможности применения полимерных моделей // Литейное производство. - 1999. № 7. - С. 23. 3. Гладков В.И., Подсобляев Д.С., Скородумов С.В. Технологии быстрого прототипирования в автомобилестроении // Литейное производство. - 2004. № 4, - С. 9-10. 4. Васильев Ф.В. Зачем нужна технология быстрого прототипирования // Литейное производство. - 2004. № 4. - С. 21-22. 5. Яцык С.И., Ларионов В.Н., Рудницкий С.В., Новиков В.А., Хохсман Р., Эдерер И. Ускоренное изготовление песчаных форм и стержней // Литейное производство. - 2004. № 4. - С. 26-28. 6. Сухарев М.Г., Седов А.Н. Ускоренное изготовление опытных партий отливок // Литейное производство. - 2004. № 4. - С. 28. 7. Кулагин В.В. Быстрое прототипирование и титановое литье в имплантологии // Литейное производство. - 2004. № 4. - С. 29-32. 8. Пат. 74257 UA, Україна, B22C9/00, B28B11/00, B32B18/00. Спосіб виготовлення керамічної форми Чернишов С.І., Вітязев Ю.Б., Триньов О.П., Триньова Т.Л., Конотопов В.С., Антипенко В.Ф.; ДМетАУ. - № 20031110336; Заявл. 17.11.03; Опубл. 15.11.05 Бюл. № 11. - 5 с. 9. Пат. 74183 UA, Україна, B22C7/00, B22C7/04, B22C7/06. Пристрій для оснащення в технології утворення ливарної форми / його варіанти // Чернишов С.І., Вітязев Ю.Б., Барков В.В., Триньова Т.Л.; ДМетАУ. - №2002108310; Заявл. 21.10.02; Опубл. 15.11.05, Бюл. № 11. - 8 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 621.74.04:621.746.6

В. Ю.СЕЛИВЕРСТОВ, канд. техн. наук, доц., НМетАУ, Днепропетровск
Ю. В.ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, доц., НМетАУ, Днепропетровск

ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СТАЛИ

Розглянуто дослідні дані щодо впливу дисперсних неметалевих включень на процес гетерогенної кристалізації, в тому числі, в умовах зростаючого газового тиску. Показана можливість регульованого впливу кластерної адсорбції на процес формування зародків при використанні тиску в процесі затвердіння.

Рассмотрены опытные данные о влиянии дисперсных неметаллических включений на процесс гетерогенной кристаллизации, в том числе, в условиях нарастающего газового давления. Показана возможность регулируемого влияния кластерной адсорбции на процесс формирования зародышей при использовании давления в процессе затвердевания.

Experimental information is considered about influence of dispersible non-metal inclusions on the process of crystallization, including, in the conditions of increasing gas pressure. Possibility of the managed influencing of cluster adsorption is rotined on the process of forming of embryos at the use of pressure in the process of thermosetting.

Введение

Относительно немногочисленные исследования, посвященные выявлению особенностей поведения различных дисперсных включений в жидких сталях, свидетельствуют о заметном влиянии, оказываемом включениями, как на физические, так и технологические свойства литого металла, в том числе, при изменении условий кристаллизации.

Анализ предыдущих публикаций и постановка задачи

Исследования особенностей поведения нерастворимых в жидких металлах дисперсий (оксидов, сульфидов, нитридов и др.) свидетельствуют о заметном влиянии последних на физико-химические и механические свойства сплавов даже при малых содержаниях [1 – 5]. По отношению к межфазным поверхностям структурные составляющие жидкости (упорядоченные кластеры и разупорядоченная зона) обладают различной адсорбционной активностью, которая обуславливает кластерную адсорбцию [6 – 8]. По мнению авторов [8 – 11], дисперсии можно рассматривать не как множество отдельных инертных частиц твердой фазы, а как диспергированные частицы в совокупности с их адсорбционными оболочками, т.е. специфические мицеллы, которые при положительной кластерной адсорбции в приповерхностных оболочках имеют плотность жидкости, значительно превышающую плотность жидкости в остальном объеме, а при отрицательной – существенно пониженную плотность приповерхностных слоев. Поэтому, при условии сохранения состояния диспергированности, а также равномерного распределения в объеме расплава, с одной стороны, и регулируемого роста – с другой, такие частицы способны обеспечивать условия модифицирования и возможность, в конечном итоге, влияния на физико-механические свойства металла. Одним из активных факторов влияния на данные процессы является давление, прилагаемое в процессе кристаллизации металла, в том числе, при использовании газодинамического воздействия [12 - 15]. Поэтому разработка теоретических и технологических основ комплексного активного воздействия на процесс формирования литой структуры представляется актуальной задачей.

Целью работы является анализ влияния дисперсных неметаллических примесей и нарастающего давления на процесс гетерогенной кристаллизации.

Основной материал

Как видно из таблицы, толщины кластерных слоев на оксидных суспензиях значительны и по порядку величины совпадают с толщинами пристеночных кластерных слоев в металлических расплавах, наблюдаемых при изучении в них диффузии с применением тонких капилляров [17 – 19]. Учитывая размеры

кластеров в жидких металлах (величина порядка нескольких десятков ангстремов), адсорбция кластеров на поверхности данных дисперсий в жидкой стали оказывается многослойной и устойчивой по сравнению со временем жизни кластера в жидком металле [20].

Таблица. Расчетные значения эффективных толщин кластерных слоев (δ) на оксидных частицах [11]

Химическая формула дисперсии	Значения δ , мкм, для температур, $^{\circ}\text{C}$					
	1450	1500	1550	1600	1650	1700
SiO_2	32	31	29	27	25	24
Al_2O_3	51	48	46	43	42	40
MgO	61	58	54	51	48	45
ZrO_2	70	66	63	59	55	52

При этом кластерные оболочки на оксидных дисперсиях устойчивы к разрушению до температуры около 2000°C [11]. Такие прочностные свойства оболочек авторы [11] объясняют не столько дальнотействующими силами притяжения, возникающими вблизи поверхностей конденсированных фаз, сколько электростатическим характером взаимодействия оксидов со структурно микронеоднородными металлическими жидкостями: кластеры в жидких металлах заряжены положительно, а поверхность оксидов обладает некоторым эффективным отрицательным потенциалом, возникающим из-за того, что их поверхности состоят из больших по размерам анионов кислорода O^{2-} , экранирующих существенно меньшие катионы металла. Следствием такого взаимодействия является положительная кластерная адсорбция. Мицеллы дисперсий при этом оказываются заряженными положительно, что является дополнительной причиной их высокой устойчивости. При этом известные данные [11] свидетельствуют о том, что положительная всплываемость появляется лишь у кремнезема при размере частиц более 46 мкм и у корунда при диаметрах частиц свыше 95 мкм. Во всех остальных случаях (до размеров частиц 100 мкм) всплываемость исследованных оксидных дисперсий отрицательна. Для наблюдаемых на практике размеров оксидных дисперсий в жидких сталях в пределах 3-30 мкм, всплываемость соответствующих им мицелл всегда отрицательна, что способствует равномерному распределению включений в объеме затвердевающего расплава. С учетом плотности и температуры плавления других неметаллических включений [5], можно предположить образование подобным образом мицелл на основе сульфидов и нитридов.

Анализ экспериментальных данных [13, 15, 16] показал, что при использовании газодинамического воздействия в процессе кристаллизации цилиндрической отливки из стали 35Л с увеличением давления количество сульфидных включений возрастает, а средний размер включения уменьшается в 1,2 - 20,6 раза. При этом временное сопротивление стали возрастает на 10 – 12 %, относительное удлинение – на 30 – 40%. Увеличивается также твердость и плотность металла.

Всесторонне распространяющееся в металлической системе давление вызывает в ней напряженное состояние. В неоднородных системах, каковыми являются технические кристаллизующиеся металлы и сплавы, поле напряжений также неоднородно. Наибольшая напряженность возникает в микрообъемах металла на границе с поверхностью содержащихся в нем твердых, жидких и газовых включений. В условиях изостатического сжатия в наибольшей мере будут напряжены слои металла, контактирующие с твердыми неметаллическими включениями, которые в зависимости от их природы могут выступать по отношению к кристаллизующемуся расплаву в роли изоморфных или анизоморфных примесей. Последние при определенных условиях могут быть также активизированы и выступать в последующем в качестве готовых поверхностей роста кристаллов [21, 22]. Способность активированных примесей влиять на процесс зарождения центров кристаллизации, выражающаяся в сокращении интервала метастабильности, обусловлена, согласно теории В.И. Данилова [22, 23], образованием на поверхности анизоморфных нерастворимых примесей в процессе их «вмораживания» в металл переходного слоя. Причем активность переходного слоя на поверхности анизоморфных примесей сохраняется и после повторных переплавов при условии ограничения перегрева. Этот переходной слой, согласно современным представлениям, является слоистой кластерной оболочкой, адсорбированной на поверхности неметаллического включения.

Согласно гипотезе Г.П. Борисова о механизме процесса активизации анизоморфных примесей, формирование переходного слоя, связывающего структуры частицы (подложки) и металла, начинается еще в период ее контакта с охлаждающимся жидким металлом. В этот период у поверхности частиц возникают флуктуационные дозародышевые образования в виде скопления некоторого количества атомов со структурой твердого состояния. С учетом изложенного выше – это адсорбированные на поверхности дисперсий кластеры.

На первом этапе затвердевания в процессе «вмораживания» анизоморфной частицы в металл последний формирует на ее поверхности реплику, точно копирующую топографию поверхности частицы (слои кластеров). В результате воздействия вызванных затвердеванием усадочных явлений приповерхностные слои металла реплики, контактирующие с твердой частицей, оказываются под воздействием значительных напряжений, возрастающих при наложении давления. Действие напряжений способствует развитию в структуре кристаллизующегося металла точечных и линейных дефектов (вакансий, атомов внедрения и дислокаций), значительная часть которых концентрируется именно на поверхности раздела кристалл – примесь. Упругое сжатие внешним гидростатическим давлением кристалла приводит к повышению энергии различных дефектов и изменению модулей сдвига. Следовательно, давление должно также влиять на подвижность дислокаций, и системы скольжения, энергетически не выгодные при атмосферном давлении, при высоких давлениях могут оказаться активными. Приложение внешнего гидростатического давления к моно- или поликристаллическим твердым телам, содержащим упругие неоднородности (в данном случае – анизоморфные твердые включения) может

привести к развитию таких сдвиговых напряжений, которые окажутся достаточными для возникновения новых дефектов в материале [21]. Наличие в зоне контакта реплики металла с частицей краевых линейных дислокаций инициирует развитие в металле процессов полигонизации и рекристаллизации, сопровождающихся в гетерогенной системе образованием зародышей именно в контактной зоне. Существование отдельных общих атомов на границе раздела кристалла и подложки [21], а также развитие процесса локального растяжения параметра решетки кристалла непосредственно под лишней полуплоскостью краевой дислокации [21], способствуют состыковыванию посредством переходного слоя кристаллических решеток кристалла и подложки, несоответствие параметров которых может значительно превышать пределы, ограниченные известным правилом Данкова [21]. Прилагаемое к системе давление, увеличивая степень деформации кристаллизующегося металла, способствует протеканию в нем активационных процессов, включая рекристаллизацию, энергия активации которой также зависит от степени деформации. При повторном расплавлении металла того же химического состава и наличии тех же анизоморфных частиц у поверхности последних, при условии смачиваемости, также образуется многослойная пленка кластеров, названная Г.П. Борисовым «жесткой жидкостью», которая стремится сохранить наследственную структуру твердого металла. С последующим снижением температуры системы эти слои металла на поверхности анизоморфных частиц примесей могут выступать в роли активных центров при кристаллизации.

Значительное влияние оказывают возникающие при деформации растущих кристаллов напряжения на их последующее развитие. Это положение доказано исследованиями Г.А. Алфинцева и Д.Е. Овсиенко [21], которые на примере чистого галлия установили, что осуществление деформации растущих кристаллов практически полностью устраняет наличие пороговых переохлаждений (критического переохлаждения), ниже которых скорость роста кристаллов оказывается пренебрежимо малой. При сохранении постоянной величины переохлаждения, например $0,63^{\circ}\text{C}$, скорость роста кристалла после деформирования увеличилась с $1,28 \cdot 10^{-6}$ до $2 \cdot 10^{-4}$, т.е. в 160 раз. Более того, установлено, что под действием деформации, вызывающей появление и развитие дефектов, не только снимается порог переохлаждения и резко увеличивается скорость роста, но и меняется характер температурной зависимости скорости роста с экспоненциальной на квадратичную, что можно трактовать как изменение зародышеобразующего механизма роста с двухмерного на дислокационный [21]. Например, заметный рост кристаллов висмута даже при отсутствии деформации начинается при переохлаждениях порядка нескольких десятых градуса ($0,3 - 0,4$). На примере олова показано, что даже при достижении значительных скоростей роста кристалла (около $2 \cdot 10^{-4}$, т.е. таких, как в случае деформированного кристалла галлия) переохлаждения на фронте сравнимы с погрешностью измерения и не превышают $0,06^{\circ}\text{C}$ [21].

Деформация под действием давления кристаллов твердой фазы в зонах их контакта при заклинивании или соударении в процессе течения металлической суспензии также будет влиять на скорость их роста [21].

В зоне твердожидкого состояния по мере сокращения в процессе кристаллизации сечения междендритных каналов резко возрастает гидравлическое сопротивление каркаса непрерывной твердой фазы. Это приводит к деформации кристаллов каркаса под давлением фильтрующейся в нем питающей жидкой фазы. Как показали эксперименты [21], уже в пределах действия низкого давления в ряде случаев деформация каркаса непрерывной твердой фазы становится значимой.

Приведенные примеры свидетельствуют о существенном влиянии напряженности силового поля кристаллизующихся металлов и сплавов на зарождение и рост кристаллов, а в конечном итоге – на структуру формирующейся отливки.

К основным направлениям дальнейшего повышения эффективности методов литья с применением давления можно отнести разработку технологий, предусматривающих повышение его величины, а также оптимизацию теплосиловых параметров процессов литья, основанных на поиске путей достижения уровня свойств деформированного металла в литых заготовках при использовании минимального избыточного давления за счет повышения эффективности его воздействия на процесс формирования отливки.

Выводы

1. Развитая межфазная граница в системах "расплавы – неметаллические включения" обуславливает необходимость учета структурной микронеоднородности расплавов в приповерхностных слоях. В соответствии с природой адсорбции кластеров на поверхности дисперсных включений могут преимущественно адсорбироваться либо кластеры жидкости (при положительной кластерной адсорбции), либо атомы разупорядоченной зоны (при отрицательной кластерной адсорбции). В обоих вариантах неметаллическое включение оказывается заключенным в оболочку расплава со структурой и свойствами, значительно отличающимися от таковых в объеме металла.

2. Повышая напряжения в контактирующем с поверхностью анизоморфных частиц слое затвердевающего металла, давление способствует формированию в зоне их контакта активного переходного слоя из кластеров, благодаря которому эти частицы приобретают способность в последующем выступать в роли активных центров при гетерогенной кристаллизации.

3. Актуальной представляется разработка технологического обеспечения процесса деформационного ускорения роста кристаллов, реализуемого наиболее эффективно при условии передачи нарастающего давления непосредственно через жидкую фазу к фронту кристаллизации.

Список литературы: 1. Явойский В.И. Теория процессов производства стали /В.И. Явойский. – М.: Металлургия. – 1967. – 792 с. 2. Есин О.А. Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч. II. /О.А. Есин, П.В. Гельд. – М.: Металлургия. – 1966. – 703 с. 3. Элиот Д.Ф. Термохимия сталеплавильных процессов: Пер. с англ. / Д.Ф. Элиот, М. Глейзер, В. Рамакришна – М.: Металлургия. – 1969. – 252 с. 4. Малиночка Я.Н. Сульфиды в сталях и чугунах /Я.Н. Малиночка, Г.З. Ковальчук. – М.: Металлургия. – 1988. – 248 с. 5. Шульте Ю.А. Электрометаллургия стального литья /Ю.А. Шульте. – М.: Металлургия. – 1970. – 222 с. 6. Ярошенко И.В. Определение удельного электрического сопротивления металлических жидкостей в приповерхностных слоях с учетом кластерной адсорбции /И.В. Ярошенко,

И.А. Новохатский //Тр. Одес. политехн. ун-та. – О., 2003. – Вып. 1 (9). – С. 235 – 237. 7. *Новохатский И.А.* Связь строения расплавов с фазовым составом многокомпонентных сплавов /И.А. Новохатский, В.З. Кисунько //Наследственность в литых сплавах: Тез. докл. III обл. науч. – техн. семинара, г. Куйбышев, 9 – 10 сент. 1987 г. – Куйбышев, 1987. – С. 15-18. 8. *Новохатский И.А.* О проявлении структурной микронеоднородности жидких металлов в поверхностных явлениях /[Новохатский И.А., Кисунько В.З., Мороз Ю.Г., Мелих А.Г.] //ЖФХ. – 1986. – Т.60. – № 9. –С. 2256 – 2261. 9.Новохатский И.А. Особенности кластерной адсорбции на неметаллических включениях в жидкой стали /И.А. Новохатский, И.В. Ярошенко //Тр. Одес. Политехн. ун-та. – О., 1998. – Вып. 1 (5): Машиностроение. Энергетика. Химия и химтехнология. – С. 241 – 244 10. Новохатский И.А. Кластерная адсорбция на оксидных включениях в жидкой стали /И.А. Новохатский, И.В. Ярошенко //Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1999. – Т. 35, № 5. – С. 53 – 58.. 11.*Новохатский И.А.* Формы существования и всплываемость оксидных дисперсий в жидких металлах /И.А. Новохатский, А.Ю. Шульте, И.В. Ярошенко //Изв. вузов. Черная металлургия. – 2001. – № 9. – С. 3 – 7. 12.*Селиверстов В.Ю.* Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок /В.Ю. Селиверстов //Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. – 2007. – Том 10. – С. 25 – 35. 13. *Селівьорстов В.Ю.* Дослідження газодинамічного впливу на властивості литої вуглецевої сталі /В.Ю. Селівьорстов //Теорія і практика металургії. – 2007. – № 4 – 5. – С. 22 – 25. 14. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 Спосіб отримання виливків/ Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28858 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21. 15.*Селиверстов В.Ю., Михайловская Т.В., Доценко Ю.В., Мушенков Ю.А.* Влияние газодинамического воздействия на распределение сульфидных включений в цилиндрической отливке из углеродистой стали, затвердевающей в кокиле // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. - №5. - С. 40 – 43. 16.*Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Носко О.А., Доценко Ю.В., Куц П.Д.* Особливості структуроутворення литої вуглецевої сталі при газодинамічному впливі // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 5-6. – С. 80-85. 17.*Новохатский И.А.* Влияние кластерной адсорбции на свойства металлических жидкостей в приповерхностных слоях /И.А. Новохатский, И.В. Ярошенко //Сучас. пробл. фіз. хімії: Матеріали міжнар. симпоз., м. Донецьк, 31 серп. – 2 верес.2002 р. – Донецьк, 2002. – С. 100. 18.*Ярошенко И.В.* Определение коэффициентов диффузии в жидких металлах с учетом межфазной кластерной адсорбции /И.В. Ярошенко, И.А. Новохатский //Тр. Одес. политехн. ун-та. – О., 1999. – Вып. 1 (7). – С. 138 – 141. 19. *Новохатский И.А.* Определение коэффициентов диффузии в жидких металлах капиллярными методами /И.А. Новохатский, И.В. Ярошенко //Журн. физ. химии. – 2000. – Т. 74. № 10. – С. 1832 – 1838. 20. *Ладьянов В.И.* Оценка времени жизни кластеров в жидких металлах /В.И. Ладьянов, И.А. Новохатский, С.В. Логунов //Изв. РАН. Металлы. – 1995. – №2. – С. 13 – 22. 21. *Борисов Г.П.* Давление в управлении литейными процессами /Г.П. Борисов. – Киев: Наук. думка, 1988. – 272 с. 22. *Данилов В.И.* Влияние условий кристаллизации на структуру алюминиевого слитка /В.И. Данилов, В.Е. Неймарк //Металлург.– 1938. – № 10. – С. 34 – 44. 23. *Данилов В.И.* Вибрані праці /В.И. Данилов. – К.: Наук. думка. – 1971. – 452 с.

Поступила в редколлегию 28.11.2011

Н.В. ВНУКОВА, канд.техн.наук, доц., ХНАДУ, Харків

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ І ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ

В статті розглядається залежність екологічної безпеки від технічного стану двигунів внутрішнього згоряння. Запропоновано питомий інтегральний показник еколого-хімічної небезпеки та критерій відповідності цього показника міжнародним нормам.

Ключові слова: двигуни внутрішнього згоряння, екологічна безпека.

В статье рассматривается зависимость экологической безопасности от технического состояния двигателей внутреннего сгорания. Предложено удельный интегральный показатель эколого-химической опасности и критерий соответствия этого показателя международным нормам.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, экологическая безопасность.

In the article dependence of ecological safety is examined on the technical state of combustion engines. There are proposed the specific integral index environmental and chemical hazards and criteria for correspondence this indicator with international standards.

Key words: combustion engines, environmental safety.

1. Вступ

Технічний стан двигунів внутрішнього згоряння оцінюється точністю лінійних розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь, що є загальним як для тих автомобілів, що випускаються, так і тих, що знаходяться в експлуатації, і їх складових частин. Це поширюється на освоєвані вироби на етапах їх проектування, доведення і досвідченого випуску.

Відповідно до загальноприйнятої термінології використовується поняття технологічного показника якості, під яким розуміється кількісна характеристика властивостей, обумовлених вимогами до технології виготовлення, технічному обслуговуванню або ремонту. Тому якщо працездатність виробів визначається різними видами і ступенем пошкоджуваності конструктивних елементів, то, як наслідок, це породжує відповідні вихідні параметри (паливна економічність, вміст і обсяг викиду шкідливих речовин, шум, вібрація, зниження продуктивності, коефіцієнт корисної дії й ін.). Ці параметри визначають динамічний стан виробу.

2. Постановка завдання

Встановлення взаємозв'язку між технологічними показниками якості і вихідними параметрами. З цією метою використовуються методи аналізу випадкових процесів та розкриття фізики відмовлень. Для рішення поставленої задачі використовуються техніко-економічні, технологічні й екологічні критерії.

3. Аналіз публікацій

Зазначена проблематика відображена в роботах таких вчених та спеціалістів як: Кавтарадзе Д.М., Каніло П.М., Лаврик А.М., Абрамчук Ф.І., Куценко А.С., Лушпа А.І. та ін.

На підставі аналізу стану питання можна сказати, що до дійсного часу рішення цієї проблеми носить приватний характер. Наприклад, докладно досліджені питання обґрунтування параметрів і їх нормативних значень для встановлення технологічних і діагностичних (вихідних) показників. Однак невирішеною є задача встановлення взаємозв'язку між закономірностями зміни технологічних показників, показниками вихідних параметрів і надійністю виробу.

4. Основна частина

Зміна вихідного параметра не завжди відповідає тимчасовій залежності зміни технологічного показника. Наприклад, лінійний характер зміни технологічного показника може привести до нелінійної зміни вихідного параметра.

Використовуючи вихідну інформацію, що міститься в сукупності одиничних реалізацій, по відомим методикам визначається статистика моментних функцій. Для цього визначаються відповідні значення оцінок зміни математичних очікувань $U(L)$ і дисперсій $S_u^2(L)$, що використовують метод найменших квадратів, можуть бути апроксимовані залежностями виду, відповідно:

$$U(L) = \overline{U}_0 + V \cdot L, \quad (1)$$

$$U(L) = \overline{U}_0 + V \cdot L^\alpha, \quad (2)$$

$$U(L) = (A \cdot \overline{U}_0 - \alpha \cdot L) / (A - L), \quad (3)$$

$$S_u^2(L) = \alpha + \alpha_1 \cdot L, \quad (4)$$

$$S_u^2(L) = S_0^2 \cdot e^{\alpha L}, \quad (5)$$

де α , α_1 , V – параметри формул, що підлягають визначенню.

Умова визначення значення технологічного показника, що допускається, полягає в забезпеченні надійності досліджуваного виробу, що визначається запасом працездатності механізму ΔL .

Загальним випадком є ситуація, коли якість виробу оцінюється не одним, а декількома технологічними показниками. Крім цього, не всі технологічні показники в однаковій мірі несуть інформацію про стан виробу. При рішенні задачі, вагомість кожного з показників визначається проведенням блокового експерименту, методом випадкового балансу або планом повнофакторного експерименту. Для проведення дослідження вибирають технологічний показник, що лімітує, а для інших установлюються можливі допускові області їх існування.

Встановлення залежності $\psi(L)$, яка характеризує вплив зміни вихідних параметрів двигуна внутрішнього згоряння в залежності від наробітку, представляє складну науково-дослідну й інженерну задачу, рішення якої може бути здійснене шляхом встановлення взаємозв'язку між ψ та U шляхом проведення стендових іспитів, як найбільш оперативним, менш трудомістким, більш інформативним і достовірним методом. З цією метою формується матриця динамічного стану двигуна внутрішнього згоряння, яка характеризує технологічні показники якості, що враховуються. Як вихідні параметри прийнята питома ефективна витрата палива (група техніко-економічних критеріїв), рівень вібрації, шуму і димності відпрацьованих газів (група екологічних критеріїв). За результатами експериментальних досліджень встановлюються шукані залежності:

$$\Delta L^B \leq \Delta L^T, \quad (6)$$

де ΔL^B та ΔL^T – запас працездатності механізму за критерієм вихідного параметра і технологічного показника відповідно.

Особливо значимим є питання про роль впливу регламентованих токсичних інгредієнтів (CO, CH, NO_x, ТЧ), а також сумарної канцерогенності відпрацьованих газів ДВЗ на їх інтегральну еколого-хімічну небезпеку або, точніше, на їх екологічну безпеку [1-5].

Для узагальнення теоретичних і експериментальних даних пропонується питомий інтегральний показник еколого-хімічної небезпеки $(EXH)_j$ двигунів внутрішнього згоряння; показник, який нормативно допускається $[EXH]_j$, а також – критерій відповідності інтегрального еколого-хімічного показника транспортного засобу міжнародним нормам K_j :

$$(EXH)_j = 10^3 \left\{ \sum_{i=1}^n k_i \frac{m_{ij}}{[ГДК_i]_{CD}} \right\}, \quad (7)$$

$$[EXH]_j = 10^3 \left\{ \sum_{i=1}^n k_i \frac{[m_i]_j}{[ГДК_i]_{CD}} \right\}, \quad (8)$$

$$K_j = EXH_j / [EXH]_j, \quad (9)$$

де $[ГДК_i]_{CD}$ – середньодобові гранично допустимі концентрації компонентів ВГ в атмосферному повітрі, мг/м³ (таблиця 1);

n – кількість компонентів відпрацьованих газів ДВЗ, які враховуються при оцінці еколого-хімічної небезпеки;

j – для ДВЗ, обладнаних поршневими двигунами з примусовим запаленням пальної суміші – (Б), для дизельних ДВЗ – (Д);

m_i , $[m_i]$ – відповідно питомі реальні і допустимі рівні викидів i -х шкідливих речовин із відпрацьованими газами ДВЗ при їх іспиті у відповідності до міжнародних вимог (m_i : CO, CH, NO_x, ТЧ, БП, SO₂), г/кВт·год (г/км – для транспортних засобів, що пройшли іспит за їзовим циклом);

k_i – безрозмірні показники посилення сполученої дії особливо небезпечних токсичних і канцерогенних речовин на людину в умовах міського середовища (у тому числі з урахуванням явищ синергизма – утворення нітроканцерогенів і мутагенів, промотування дрібнодисперсними твердими частками канцерогенної агресивності ВГ, доокислення NO у NO₂, підвищення кислотності середовища, тощо): $k_{NO_x} = 3$; $k_{БП} = 5,2$; $k_{KB} = 1,3$; $k_{ТЧ} = 2,4$.

Таблиця 1. Середньодобові гранично допустимі концентрації деяких компонентів відпрацьованих газів ДВЗ в атмосферному повітрі

Речовина	$[ГДК_i]_{CD}$, мг/м ³	Речовина	$[ГДК_i]_{CD}$, мг/м ³
Оксид вуглецю	3	Сажа	0,05
Вуглеводні (неканцерогенні)	1,5	Діоксид азоту	0,04
Оксид азоту	0,06	Формальдегід	0,003
Діоксид сірки	0,05	Бенз(а)пирен	0,000001

Показник $(EXH)_j$ характеризує питому кратність розведення ВГ чистим повітрям (питомий нормообмін) до гранично безпечних для людини концентрацій шкідливих речовин.

При цьому допустимі рівні викидів БП із відпрацьованими газами ДВЗ $[m_{БП}]_j$ можуть бути визначені з граничних умов для нормованих NO_x ($NO \sim 90\%$, $NO_2 \sim 10\%$) за залежністю:

$$k_{NO_x} \cdot \left(\frac{0,9 \cdot [m_{NO_x}]_j}{[NO]_{CD}} + \frac{0,1 \cdot [m_{NO_x}]_j}{[NO_2]_{CD}} \right) = k_{KB} \cdot \frac{[m_{БП}]_j}{[БП]_{CD}}, \quad (10)$$

а граничні рівні $[m_{SO_2}]_j$ – з відповідних міжнародних поетапних вимог до вмісту сірки в паливі ($[C_s]$: 0,1; 0,05 і 0,02%) і обчислені з використанням залежності:

$$[m_{SO_2}]_j = 0,02[C_s] \cdot g_T, \quad (11)$$

де g_T – витрата палива на 1 км пробігу транспортного засобу при його іспиті за Європейським міським їздовим циклом, г/км.

В роботах [1, 4, 6, 7] при визначенні приведеної маси річних викидів шкідливих речовин від джерела, наприклад транспортного засобу, в атмосферу пропонується методика оцінки факторних коефіцієнтів підсилення шкідливого впливу для ряду токсичних і канцерогенних інгредієнтів (додатково до відносних показників $[ГДК_{CO}]_{CD}/[ГДК_i]_{CD}$) і зв'язаних, наприклад, з умовами експлуатації транспортних засобів у містах. Значення складових коефіцієнтів підсилення негативного впливу ряду шкідливих речовин, що викидаються з відпрацьованими газами ДВЗ, приведені в таблиці 2 [8].

Таблиця 2. Значення складових при визначенні коефіцієнтів підсилення негативного впливу ряду шкідливих речовин, що викидаються з відпрацьованими газами ДВЗ в умовах міського середовища

Компонент ВГ	Коефіцієнти			
	α_i	β_i	δ_i	k_i
Оксид вуглецю і легкі (неканцерогенні) вуглеводні	1	1	1	1
Оксиди азоту	1	2	1,5	3
Діоксид сірки	1	1	2	2
Бенз(а)сирен	2	2	1	4
Тверді (сажисті) частки	2	1	1,2	2,4

В таблиці: $k_i = \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \delta_i$; α_i – поправки, які враховують ймовірність нагромадження газоподібної домішки й аерозолів у компонентах навколишнього середовища й у ланцюгах харчування, а також надходження газоподібних домішок і аерозолів до організму людини неінгаляційним шляхом; β_i – поправки на ймовірність утворення при участі вихідних газоподібних домішок і аерозолів, що викидаються в атмосферу, інших забруднювачів (явища синергізму) більш небезпечних, ніж вихідні; δ_i – поправки, що враховують дію на різні реципієнти, крім людини. Враховуючи, що $\sum KA_{(ВГ)} = 1,3 \cdot m_{БП}$, показник $k_{KB} = 1,3$, $k_{БП} = 5,2$.

При використанні залежностей (10) і (11) були розраховані граничні рівні $[m_{БП}]$ і $[m_{SO_2}]$, а також інтегральні показники $[EXH]_j$ для транспортних засобів з поршневими бензиновими (Б) і дизельними (Д) двигунами стосовно до міжнародних норм: «Євро-2», «Євро-3», «Євро-4» (табл. 3).

Узагальнені показники $(EXH)_Б$, $K_Б = (EXH)_Б / [EXH]_Б$ норми Євро-2, а також – часткова участь i -х шкідливих речовин у еколого-хімічній небезпеці транспортних засобів, обладнаних ДВЗ із примусовим запаленням пальної суміші (Б) і при використанні нафтових палив, представлені в таблиці 4 і на рис. 1.

Таблиця 3. Розрахункові значення граничних показників еколого-хімічної небезпеки ДВЗ

Тип двигуна	$[EXH]_j \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3/\text{км} / [m_{БП}] \cdot 10^6, \text{ г/км}$		
	«Євро-2»	«Євро-3»	«Євро-4»
Б	27/2,5	17/1,5	9/0,8
Д	75/6	58/4	29/2,5
$[m_{SO_2}]_Д, \text{ г/км}$	0,2	0,1	0,04

Таблиця 4. Розрахункові дані за еколого-хімічними показниками транспортних засобів при використанні нафтових палив

Тип ДВЗ	$(EXH)_Б \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3/\text{км}$	$K_Б$	$(EXH)_Б / (EXH)_Б, \%$		
			CO + CH	NO _x	БП
1	170	6,3	2,5	70	27,5
2	146	5,4	2,0	75	23
3	67	2,5	2,0	89	9,0
4	56	2,1	3,0	89	8,0
5	118	4,4	1,0	97	2,0
6	36	1,3	1,0	96	3,0
7	51	1,9	1,0	97	2,0
8	9	0,3	2,0	57	41
9	17	0,6	5,0	73	22
10	12	0,45	3,0	64	33
11	24	0,9	4,0	71	25

З отриманих результатів можна зробити висновок, що:

- частка CO і CH в інтегральному еколого-хімічному показнику ДВЗ складає не більш 5% (в основному 1-3%) і при оцінці екологічної безпеки автомобілів зазначені інгредієнти практично можуть не враховуватися. Слід зазначити, що аналіз рівнів викидів CO і CH з відпрацьованими газами ДВЗ важливий при

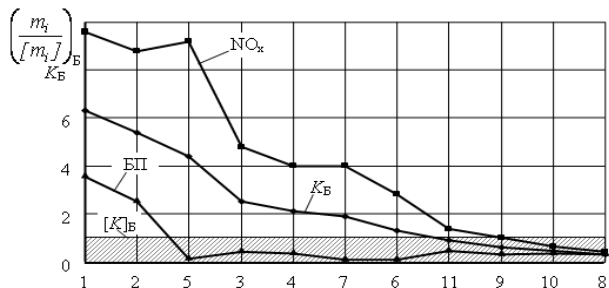


Рис. 1. Відповідність інтегральних еколого-хімічних показників ДВЗ міжнародному стандарту «Євро-ІІ», який прийнято в Україні

відпрацьовуванні й удосконалюванні робочих процесів ДВЗ з метою мінімізації питомих експлуатаційних витрат палив;

- еколого-хімічна небезпека (безпека) досліджених ДВЗ в основному (на 95% і більше) визначається рівнями викидів з відпрацьованими газами NO_x і канцерогенних вуглеводнів (БП);

- значиме зниження рівнів викидів NO_x з відпрацьованими газами ДВЗ при використанні нафтових палив забезпечуються: застосуванням форкамерно-факельного запалення збіднених бензоповітряних сумішей; використанням як паливо пропан-бутану й особливо при облаштуванні ДВЗ біфункціональними системами нейтралізації ВГ (БСНВГ). Використання високоароматизованих нафтових палив призводить до росту рівнів викидів як NO_x , так і КВ з відпрацьованими газами ДВЗ;

- істотне (на порядок і більше) зниження сумарної канцерогенності відпрацьованих газів ДВЗ (рівнів викидів КВ) забезпечується: при використанні форкамерно-факельного запалення збіднених бензоповітряних сумішей; застосуванням як паливо пропан-бутану й особливо при облаштуванні ДВЗ, як окисними, так і біфункціональними системами нейтралізації ВГ. Тому, устаткування ДВЗ навіть ОСНВГ, особливо при використанні високоароматизованих нафтових палив, представляється гранично важливим для зниження канцерогенного забруднення атмосфери міст;

- нормативним вимогам «Євро-2», які діють на даний час в Україні, відповідають ДВЗ №8-№11, двигуни які обладнані біфункціональними системами нейтралізації відпрацьованих газів.

Досліджуваний транспортний засіб з дизелем характеризується більш високими рівнями викидів КВ, а також – наявністю у ВГ досить високих рівнів твердих часток ($m_{\text{ТЧ}} = 0,82 / \text{км}$) і оксидів сірки ($m_{\text{SO}_2} = 0,62 / \text{км}$). При цьому, $(\text{ЕХН})_d = 329 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{км}$ і $[\text{ЕХН}]_d = 75 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{км}$ (щодо нормативних вимог «Євро-2», а також – розрахункових граничних умов по БП і SO_2 , а $K_d = 4,4$, тобто зазначений ДВЗ з дизелем перевищує норми «Євро-2» більш, ніж у 4 рази. Слід зазначити, що частка КВ в $[\text{ЕХН}]_d$ ДВЗ, обладнаного дизелем ГАЗ-560, займає

приблизно 50%, NO_x – 30%, ТЧ – 12%, SO_2 – 8%. Тому широка дизелізація транспортних засобів, особливо при збільшеному вмісті АВ в дизельних паливах, як було показано раніше, може ускладнити рішення екологічних проблем, особливо екологічних проблем міст. Узагальнені показники і часткова участь i -х шкідливих речовин в еколого-хімічній небезпеці ДВЗ при використанні різних палив представлені в таблиці 5 і на рис. 2.

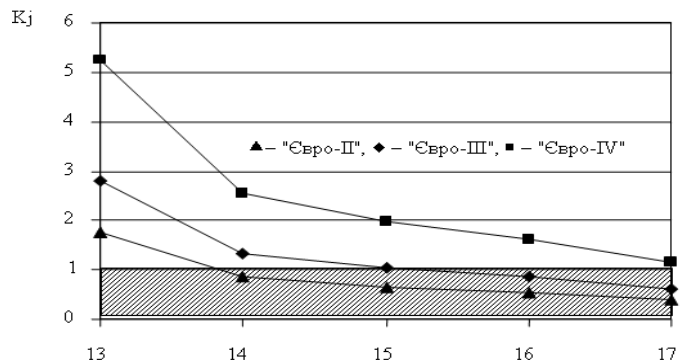


Рис. 2. Відповідність інтегральних еколого-хімічних показників ДВЗ міжнародним стандартам

Таблиця 5. Розрахункові дані за еколого-хімічними показниками ДВЗ при використанні альтернативних і композитних палив з підвищеним вмістом водню

Тип ДВЗ	$(EXH)_B \cdot 10^{-3},$ м ³ /км	$(EXH_B) / (EXH)_B, \%$			K_B		
		CO + CH	NO _x	БП	Євро-2	Євро-3	Євро-4
13	47	7	87	7	1,75	2,79	5,26
14	23	5	91	5	0,85	1,34	2,54
15	18	5	87	7	0,66	1,05	1,98
16	14,5	4	89	7	0,54	0,86	1,62
17	10	0	100	0	0,38	0,61	1,15

З отриманих результатів можна зробити висновок, що:

- частка CO і CH в інтегральному еколого-хімічному показнику досліджуваних ДВЗ при використанні нафтових палив складає не більш 5%;
- еколого-хімічна небезпека досліджуваних ДВЗ при використанні альтернативних і композитних палив (з підвищеним водневим показником) в основному визначається рівнями викидів з ВГ оксидів азоту. При цьому частка рівнів викидів КВ з відпрацьованими газами ДВЗ не перевищує 10%;
- нормативні вимоги «Євро-2» виконуються досліджуваними ДВЗ при використанні як паливо: природного газу, метанолу, водню, а також – збіднених бензоводне-повітряних сумішей. Норми «Євро-3» фактично виконуються тільки при використанні водню в якості, як основного, так і додаткового енергоносія.

Слід зазначити, що жоден з досліджуваних транспортних засобів практично не відповідає сучасним нормативним вимогам «Євро-4», а тим більше «Євро-5». За питомими викидами NO_x до зазначених нормативних рівнів наближаються тільки ДВЗ, обладнані БСНВГ.

Таким чином, використання зазначених альтернативних палив, у першу чергу природного газу, а також водню як додаткового енергоносія, є одним з важливих напрямків по зниженню канцерогенного забруднення атмосфери міст. Для зниження рівнів викидів NO_x необхідно додатково застосовувати сучасні відбудовні нейтралізатори, у тому числі накопичувального типу, плазмені, тощо. При цьому чітко повинні виконуватися вимоги щодо мінімізації рівнів змісту АВ і сірки в паливах.

Отримані результати свідчать, що еколого-хімічна небезпека (безпека) ДВЗ з примусовим запаленням паливних сумішей при використанні, як нафтових, так і альтернативних вуглеводневих палив в основному (на 95% і більше) визначається рівнями викидів NO_x і КВ. Тому представляється можливим визначати еколого-хімічну небезпеку легкових автомобілів із зазначеними двигунами як:

$$(EXH)_B = k_{NOx} \cdot \frac{m_{NOx}}{[NO_x]_{CD}} + k_{KB} \cdot \frac{m_{BP}}{[BP]_{CD}}, \quad (11)$$

А для ДВЗ з дизелями зазначений показник може оцінюватися як:

$$(EXH)_D = k_{NOx} \cdot \frac{m_{NOx}}{[NO_x]_{CD}} + k_{KB} \cdot \frac{m_{BP}}{[BP]_{CD}} + k_{TC} \cdot \frac{m_{TC}}{[TC]_{CD}}, \quad (12)$$

Автори роботи [4], показуючи вплив пробігу транспортних засобів типу ВАЗ-2105 на зміну питомих рівнів викиду шкідливих речовин з ВГ, пропонують

при оцінці показника еколого-хімічної безпеки транспортних засобів враховувати вплив технічного стану ДВЗ на масовий викид i -ої шкідливої речовини, тобто:

$$M_i = m_i \cdot k_{i(TЗ)}, \quad (13)$$

де $k_{i(TЗ)}$ – коефіцієнт, який враховує вплив величини пробігу транспортного засобу і відповідно технічного стану ДВЗ на масовий рівень викиду i -ої шкідливої речовини.

Графік, побудований на підставі експериментальних даних (рис. 3), був доповнений, для наочності, розрахованими значеннями критерію відповідності транспортних засобів міжнародним вимогам «Євро-4».

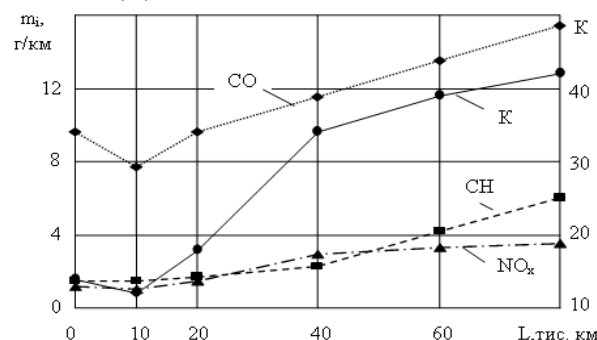


Рис. 3. Залежність еколого-хімічних показників транспортних засобів від їх пробігу

Список літератури: 1. *Иванов А.* Удельные показатели образования вредных веществ, выделяющихся в атмосферу от основных видов технологического оборудования предприятий машиностроения и военно-промышленного комплекса [Текст] / А. Иванов. – Х.: ХГПИ, 1997. – Т.1. – 318 с. 2. *Канило П.М.* Анализ экологохимических показателей легковых автомобилей при использовании различных топлив / П.М. Канило, М.В. Сарапина // Проблемы охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наукових праць. – Х.: Райдер. – 2008. Вып. XXX. – С. 248-259. 3. *Воробьев-Обухов А.И.* Наночастицы и мегазатраты / А.И. Воробьев-Обухов // За рулем. – 2008. – № 1. – С. 176-177. 4. *Коротков М.В.* Пробег и экологическая безопасность автомобиля / М.В. Коротков, Е.В. Бондаренко // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 5. – С. 8-10. 5. *Ахмедов Р.Б.* Технология сжигания горючих газов и жидких топлив [Текст] / Р.Б. Ахмедов, Л.М. Цирульников. – Л.: Недра, 1984. – 283 с. 6. *Канило П.М.* Автомобиль и окружающая среда [Текст] / П.М. Канило, И.С. Бей, А.И. Ровенский. – Х.: Прапор, 2000. – 304 с. 6. *Звонов В.А.* Анализ европейских норм на выбросы вредных веществ с отработавшими газами автомобильных дизелей / В.А. Звонов, Л.С. Заиграев // Автошляховик України. – 1996. – № 2. – С. 2-5. 7. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / [авт. текста И. Петров]. – М.: Экономика, 1986. – 95 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 573.6.086.83:582.28

Л. О. АНТОНЕНКО, асп., НТУУ «КПІ», Київ

ПЕРСПЕКТИВИ ОТРИМАННЯ БАД НА ОСНОВІ БІОМАСИ CORIOLUS VERSICOLOR

Розглянута можливість використання біомаси базидіального гриба *Coriolus versicolor* для створення БАД лікувально-профілактичного або харчового призначення. Оптимізовано поживне середовище та умови культивування.

Ключові слова: біомаса, *Coriolus versicolor*, БАД

Рассмотрена возможность использования биомассы базидиального гриба *Coriolus versicolor* для создания БАД лекарственно-профилактического и пищевого назначения. Оптимизированы

питательная среда и условия культивирования. Представлено химический, аминокислотный и жирнокислотный состав биомассы.

Ключевые слова: биомасса, *Coriolus versicolor*, БАД

The possibility of using biomass basidiomycete *Coriolus versicolor* to create a dietary and preventive medicinal supplements. Optimized nutrient medium and the conditions of cultivation. Presented by the chemical, aminoacid and fatty acid composition of the biomass.

Key words: biomass, *Coriolus versicolor*, supplement

Вступ

Базиціальні гриби є цінним харчовим продуктом завдяки наявності в них не лише дієтичного білку, а й незамінних у харчуванні людини компонентів (амінокислот, вітамінів, мікроелементів тощо) [1].

Вид *Coriolus versicolor* найчастіше згадується в медико-біологічній літературі як продуцент біологічно активних сполук, і традиційно використовується в народній медицині Сходу. Для нього характерна здатність до швидкого росту в умовах глибинної культури та накопичення біомаси з високим вмістом білку, що може бути перспективним з точки зору розробки технології отримання інтактної міцеліальної біомаси цих грибів лікувально-профілактичного або харчового призначення.

Постановка проблеми

Аналіз даних літератури показав [1, 2], що для розробки технології отримання харчової добавки на основі грибів роду *Coriolus* перепону є фрагментарна інформація щодо вивчення трофічних потреб *Coriolus*, їх культуральних та біосинтетичних особливостей в умовах штучної культури. Крім того, ці параметри можуть значно варіювати в залежності від штаму і тому є необхідність підбирати оптимальні умови та режими культивування для вибраних штамів. Таким чином, дослідження в цьому напрямку є доцільними.

Мета досліджень – оптимізація складу поживного середовища та умов культивування для отримання біомаси лікувально-профілактичного призначення.

Об'єкт дослідження – штам 353 *Coriolus versicolor* - отриманий з колекції культур шапинкових грибів Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України.

Експериментальна частина

Результатом дослідження ростових характеристик штаму 353 *C.versicolor* в глибинній культурі стало встановлення умов культивування, що забезпечують високий вихід біомаси (температура 30 °С, швидкість перемішування 120-180 об/хв., аерація 1об/об/хв.).

Склад середовища культивування було оптимізовано з використанням плану дробного факторного експерименту за кількісним вмістом глюкози, пептону, сухого дріжджового екстракту, пивного суслу, концентрації водневих іонів (pH). Отримане комплексне середовище, що забезпечувало вихід біомаси в межах 14,5-16,0 г/дм³ на 4 добу культивування.

Вивчення біохімічних характеристик сухої біомаси штаму 353 *C.versicolor*, отриманої на комплексному середовищі, дало змогу встановити хімічний склад міцелію (таблиця 1). Вміст сирого протеїну (32 %) на рівні з аналогічним показником для *Pleurotus ostreatus*. Виский вміст золи ймовірно пов'язаний з

вихідним значним вмістом зольних елементів у середовищі культивування (пивне сусло, дріжджовий екстракт).

Таблиця 1. Загальний хімічний склад глибинного міцелію

Показник	Вміст, % від абсолютно сухої маси		
	<i>Coriolus versicolor</i> 353 ІБК	<i>Ganoderma lucidum</i> 1621 ІБК [3]	<i>Pleurotus ostreatus</i> 101937 CBS [4]
Сирий протеїн (Nx4,38)	32,0±0,1	28,1±0,1	36,0±0,3
Ліпіди	3,3±0,4	6,1±0,4	2,1±0,1
Загальні вуглеводи	52,1±0,3	59,8±0,3	54±0,3
Зола	12,6±0,4	6,0±0,4	7,9±0,3

У гідролізатах біомаси штаму 353 *C.versicolor* нами виявлено 17 амінокислот (таблиця 2).

Таблиця 2. Амінокислотний склад сухої біомаси і вихідного поживного середовища

Амінокислоти		Вихідне поживне середовище	<i>C.versicolor</i> 353 ІБК
		Вміст, % від загальної кількості	
Незамінні	Лізин	6,91±0,11	6,72±0,12
	Треонін	5,32±0,13	5,59±0,12
	Валін	5,42±0,12	4,56±0,11
	Метіонін і цистин*	0,61±0,10 1,42±0,10	1,91±0,11 0,75±0,11
	Ізолейцин	4,55±0,11	2,91±0,11
	Лейцин	7,18±0,11	7,74±0,11
	Фенілаланін і тирозин*	4,85±0,11 1,35±0,11	4,96±0,12 3,19±0,11
Замінні	Гістидин	2,05±0,13	2,46±0,11
	Аргінін	5,0±0,12	7,01±0,11
	Аспарагінова кислота	12,74±0,31	10,2±0,31
	Серин	5,62±0,22	6,33±0,11
	Глутамінова кислота	20,53±0,31	15,12±0,31
	Пролін	3,82±0,11	5,86±0,11
	Гліцин	5,28±0,13	6,19±0,12
	Аланін	7,36 ±0,21	8,5±0,12
Показники	Сума незамінних АМ (Е)	34,83	34,39
	Сума замінних АМ (N)	65,17	65,61
	Е/N	0,53	0,52

Примітка. * Потреба організму людини в метіоніні задовольняється на 80-89% замінною амінокислотою цистином, а у фенілаланіні – на 70-75% замінною амінокислотою тирозином, тому обидві названі пари амінокислот оцінюють разом

Амінокислотний склад білкових речовин дослідженого штаму подібний до амінокислотного складу білків інших грибів.

Загальновідомо, що одним з показників, які характеризують біологічну цінність білку є співвідношення сумарного відсоткового вмісту незамінних амінокислот до вмісту решти (E/N). Тому доцільно було розрахувати цей показник для біомаси штаму 353 *C.versicolor*.

Даний показник для білку біомаси складав 0,52, що на рівні з відповідними показниками для білку біомаси таких грибів як *Pleurotus ostreatus* (0,52), *Schizophyllum commune* (0,51), *Flammulina velutipes* (0,48), *Ganoderma lucidum* (0,48), *Grifola frondosa* (0,48), і в 2,0 рази менше, ніж біологічна цінність білку яєчного альбуміну, показник якого прийнятий за одиницю.

Порівняння вмісту амінокислот біомаси досліджуваного штаму зі стандартним білком (шкала ФАО/ВООЗ) показав, що він лімітований за метіоніном і цистеїном. За вмістом решти амінокислот білок біомаси знаходиться на рівні стандартного білку.

За даними літератури між амінокислотним складом білку та ступенем його розщеплення травними ферментами існує безпосередній взаємозв'язок. Нами розраховано, що для білку біомаси штаму 353 *C.versicolor* ступінь переварювання становив 2,34, що на рівні з показником для соєвого борошна (2,1).

Жирнокислотний склад сухої біомаси представлений в таблиці 3.

Таблиця 3. Жирнокислотний склад глибинного міцелію

Жирна кислота	Код жирної кислоти	Вміст, % загальної кількості		
		<i>C.versicolor</i> 353 ІБК	<i>C.pubescens</i> 923-2 ЛЕ (БИН) [1]	<i>P.ostreatus</i> 101937 CBS [4]
Мірістінова	C 14:0	0,31 ± 0,02	-	1,5 ± 0,4
Пальмітинова	C 16:0	22,73 ± 0,30	34,5 ± 0,6	18,4 ± 1,9
Гептодеканова	C 17:0	0,45 ± 0,02	-	-
Стеаринова	C 18:0	5,48 ± 0,54	4,1 ± 0,2	-
Арахідонова	C 20:0	0,3 ± 0,16	-	-
Бегенова	C 22:0	0,43 ± 0,01	-	-
Сума насичених		29,70	38,6	19,9
Пальмітоолеїнова	C 16:1	0,61 ± 0,12	1,3 ± 0,2	1,5 ± 0,4
Гептадеценова	C 17:1	0,86 ± 0,04	-	-
Олеїнова	C 18:1n9c	25,94 ± 0,30	33,4 ± 0,5	18,4 ± 1,6
Лінолева	C 18:2n6c	48,1 ± 0,46	25,7 ± 0,3	43,2 ± 1,5
Ліноленова	C 18:3n3	0,39 ± 0,12	сліди	-
Сума ненасичених кислот		75,9	60,4	63,1

Примітка: «-» дані відсутні

Фракція жирних кислот біомаси штаму 353 *C. versicolor* характеризується високим (більше 75,9 %) вмістом ненасичених жирних кислот (олеїнова та лінолева).

Високий вміст лінолевої кислоти в ліпідах грибів білої гнилі, до яких належить і рід *Coriolus* узгоджується з даними літератури [5]. Серед насичених жирних кислот більший відсоток належить пальмітиновій (22,73 %) та стеариновій кислоті (5,48 %). Для порівняння в таблиці 3 наведені дані жирнокислотного складу біомаси базидіоміцетів *Coriolus pubescens*, *Pleurotus ostreatus*.

Фракція жирних кислот біомаси *C.versicolor* 353 переважає аналогічні фракції штамів взятих для порівняння за відсотковим вмістом лінолевої (48,1 %) та стеаринової (5,48 %) жирних кислот, проте поступається за вмістом пальмітинової та олеїнової кислот штаму *C.pubescens* 923-2.

Літературні дані [5] свідчать про те, що в процесі біодеградації лігніну гриби білої гнилі, серед яких і рід *Coriolus*, генерують активні форми кисню: за участі лігнінази відбувається утворення катіонних радикалів фенольної природи. Оскільки, ненасичені жирні кислоти легко піддаються вільнорадикальному окисленню в присутності активних форм кисню, тому складаються умови, що сприяють активації перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) міцелію. У зв'язку з цим гриби білої гнилі мають механізми, що обмежують розвиток надлишкового ПОЛ завдяки утворенню речовин з антиокислювальною активністю (антиоксидантів), тому гриби роду *Coriolus* можна розглядати як потенційні джерела для здобуття біоантиоксидантів або комплексних препаратів, що мають антиоксидантні властивості.

Висновок

Таким чином, встановлено, що за вмістом незамінних амінокислот білок біомаси штаму 353 *C.versicolor* відповідає стандарту ФАО/ВООЗ на продукти харчування.

Хімічний склад міцелію, якісний і кількісний амінокислотний та жирнокислотний склад біомаси дає змогу констатувати її значну біологічну цінність і створює підґрунтя для подальшого використання у вигляді харчової добавки.

Список літератури: 1.Горшина, Е. С. Глубинное культивирование грибов рода *Trametes* Fr. с целью получения биологически активной биомассы [текст] : дис. ... канд. биол. наук: 03.00.23, 03.00.24 / Е. С. Горшина. – М., 2003. – 250 с. 2.Белова, Н. В. Перспективы использования биологически активных соединений высших базидиомицетов в России [текст] / Н. В. Белова // Микол. и фитопатол. – 2004. – Т. 38, № 2. – С. 1–5. 3.Круподьорова, Т. А. Біологічні особливості *Ganoderma applanatum* (Pers.: Wallr.) Pat. та *G. lucidum* (Curtis: Fr.) P. Karst. в культурі [текст] : автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.21 / Т. А. Круподьорова. – К. : Ін-тут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, 2009. – 21 с. 4.For higher Basidiomycetes mushrooms grown as biomass in submerged culture [text] : pat. 6,372,964 B1 U.S. : Int. Cl. A 01 H 15/00 / Wasser S. P., Reshetnikov S. V., Solomko E. F., Buchalo A. S., Nevo E. ; assignee Med Myco Ltd. - № 09/432,653 ; appl. 2.11.1999 ; - publ. 16.04.2002. – 16 p. 5.Капич, А. Н. Биосинтетическая активность дереворазрушающих грибов при глубинном культивировании [текст] / А. Н. Капич // Микол. и фитопатол. – 1990. – Т.24, №5. – С. 377–384.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

В. А. ЮРЧЕНКО, докт. техн. наук, проф., ХНАДУ, Харьков

А.Ю. БАХАРЕВА, канд.техн.наук, ст. преп., НТУ «ХПИ», Харьков

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФИЛЬТРА ИЗ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ДЕГАЗАТОРА ПРИ ОЧИСТКЕ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ ИЗ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ОТ МЕТАНА

Встановлено причини низької ефективності очистки від метану газоподібних викидів з каналізаційних мереж. Запропоновано ефективну біотехнологію очистки газоподібних викидів з каналізаційних мереж в біореакторі з шаром, що омивається.

Установлены причины низкой эффективности очистки от метана газообразных выбросов из канализационных сетей. Предложена эффективная биотехнология очистки газообразных выбросов из канализационных сетей в биореакторе с омываемым слоем.

The cases of low effective of gasiform throw outs treatment out of sewerage networks from methane have been established. The effective biotechnology of gasiform throw outs treatment out of sewerage networks in bioreactor with washing layer has been proposed.

Для установления природы и происхождения агрессивных сред, разрушающих адсорбент в фильтре и снижающих эффект газоочистки, анализировали химический состав атмосферы канализационных коллекторов и газообразных выбросов [1-5], химический состав пленочной влаги на активированном угле и бетоне, провели микробиологическое обследование активированного угля и бетона канализационных коллекторов.

Газовые выбросы из канализационных сетей имеют высокую относительную влажность (60-70%), поэтому в процессе эксплуатации фильтра на сорбенте образуется водная пленка, что изменяет сам принцип очистки (сухая фильтрация), заложенный в конструкции. В то же время, влажность, являющаяся одним из обязательных условий развития микроорганизмов, может инициировать размножение и жизнедеятельность спонтанных микробных сообществ.

Доминирование отдельных видов и групп микроорганизмов обусловлено химическим составом среды (концентрацией биогенных элементов и природой, содержащих их химических соединений), которая формируется на твердых субстратах (бетоне и активированном угле). Хорошая растворимость H_2S , SO_2 , CO_2 и NH_3 приводит к тому, что эти газообразные соединения накапливаются в пленочной влаге и инициируют развитие специфического микробиоценоза, в котором из-за низкой концентрации органических субстратов могут преобладать бактерии либо с олигокарбофильным, либо с хемилитоавтотрофным типом обмена веществ. Теоретически высокая концентрация сероводорода и диоксида серы должны инициировать развитие тиобацилл (главным образом автотрофных), а высокая концентрация метана – развитие метилотрофных бактерий (в том числе метанотрофных).

Присутствие в среде аммиака, концентрация которого значительно ниже концентрации H_2S и CH_4 , должно вызвать развитие нитрифицирующих бактерий. Удаление метилмеркаптана могут осуществлять как тиобациллы, окисляя SH^- – группу до SO_4^{2-} и высвобождая CH_4 , так и метилотрофы, которые окисляют CH_3 – группу и высвобождают H_2S . Однако, концентрация метилмеркаптана в газовых выбросах из канализационных сетей имеет значения, лимитирующие его окисление метилотрофами, в то время как для тионовых бактерий K_s по метилмеркаптану имеет существенно более низкие значения [8, 10, 11, 1-3].

Проверить выдвинутые предположения можно с помощью микробиологического исследования твердых субстратов, находящихся в атмосфере подсводового пространства канализационных коллекторов. Результаты микробиологических исследований бетона из канализационных коллекторов, приведенные в табл. 1, подтвердили изложенные выше теоретические предположения. В бетоне – основном конструктиве канализационных коллекторов происходит интенсивное развитие микроорганизмов различных эколого-трофических групп круговоротов углерода, серы и азота.

Из результатов эксперимента следует, что в динамике эксплуатации бетона, которую отражает снижение рН образцов, концентрация ацидофильных тиобацилл стабильно возрастает, в то время как концентрация микроорганизмов других эколого-трофических групп стабильно снижается. Среди факторов, негативно влияющих на развитие метилотрофных бактерий при длительной эксплуатации коллекторов, можно выделить низкие значения рН среды, обусловленные накоплением серной кислоты, которую образуют тиобациллы, а также высокую минерализацию пленочной влаги [6, 8, 1, 4].

Таблица 1. Микробиологические характеристики бетона из канализационных коллекторов

рН бетона сводовой части канализационног о коллектора	Концентрация бактерий, кл./г сухого бетона				Минерализа ция пленочной влаги, г/дм ³
	Тионовых, окисляющих		Нитрифицир ующих, окисляющих NH ₄ ⁺	Метилот рофных	
	S ²⁻ до S ⁰	S ²⁻ до SO ₄			
9,0	1,2·10 ⁴	6,8·10 ³	3,0·10 ⁶	2,0·10 ⁵	≈ 1,0
6,0	2,1·10 ³	1,1·10 ⁵	1,2·10 ⁵	0,8·10 ⁴	≈ 10,0
3,5	0	7,2·10 ⁷	4,2·10 ²	0	≈ 50,0

Микробиологические исследования активированного угля из лабораторной установки (рис. 1), имитирующей дегазаторы на канализационных шахтах, выполняли через 1, 2 и 3 месяца эксплуатации (табл. 2, 3).

Лабораторное моделирование процессов, формирующих газообразную среду в сетях водоотведения, и процессов, происходящих в фильтре из активированного угля при ее очистке, выполняли в установке объемом 5 дм³ (колонна из оргстекла), схема которой представлена на рис. 1.

Для ускорения формирования биологической пленки на сорбенте

(активированном угле) его инокулировали микрофлорой, выделенной в накопительную культуру из активированного угля промышленного фильтра очистки газовых выбросов шахт канализационных коллекторов и бетона канализационных шахт.

В нижнюю часть установки помещали сточную жидкость, первичные осадки сточных вод и активный ил. Для инициации анаэробных процессов, происходящих в сточных водах при транспортировании канализационными коллекторами, и образующих H_2S , CH_4 , SO_2 и NH_3 , в сточной воде понижали окислительно-восстановительный потенциал и концентрацию кислорода введением сульфида натрия. Формирование газовой среды, имитирующей газообразные выбросы

из канализационных коллекторов, ускоряли добавлением в сточную воду кроме Na_2S - гидроокиси аммония, а в газообразную среду над водой – CH_4 . При исследовании эффективности газоочистки на установке газовую смесь известного состава нагнетали в установку через штуцер 5.

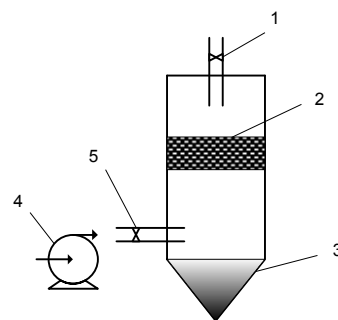


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки, моделирующей очистку газообразных соединений, образующихся при транспортировке сточных вод: 1 – штуцер для отведения газа, прошедшего биотехнологическую очистку, и для отбора проб; 2 – сорбент из активированного угля; 3 – осадки сточных вод; 4 – компрессор; 5 – штуцер для отбора проб газовой среды, образуемой в сточных водах донными отложениями, и для введения в сточные воды дополнительных соединений

Таблица 2. Микрофлора, иммобилизованная на активированном угле лабораторного фильтра

Продолжительность эксплуатации фильтра, мес	Концентрация бактерий, ед./Г _{загрузки}		
	Тионовых, окисляющих S^{2-} до SO_4	Нитрифицирующих, окисляющих NH_4^+	Метилотрофных
1	10^4	10^5	$0,8 \cdot 10^5$
2	10^5	10^4	$6,4 \cdot 10^2$
3	10^7	10^2	0

Как видно, из данных табл. 2, концентрация метилотрофных бактерий в микробиоценозе, сформировавшемся на загрузке из активированного угля в процессе эксплуатации, устойчиво снижалась, также как и в бетоне в динамике эксплуатации канализационных коллекторов. Вероятно, это было обусловлено активным развитием тиобацилл – продуцентов серной кислоты, концентрация которых стабильно возрастала и достигала значений 10^7 кл./Г_{загрузки}. Причем, по сравнению с бетоном (табл. 1), при одних и тех же значениях рН (6,0) на активированном угле концентрация метилотрофных бактерий была ниже. Это, вероятно, обусловлено тем, что бетон является химически активным субстратом, который нейтрализует кислоты, а активированный уголь – инертен и не защищает бактерии от воздействия кислот. Жизнедеятельность тиобацилл

приводит к накоплению серной кислоты в пленочной влаге на активированном угле и снижению pH, что подтвердили данные физико-химического исследования загрузки, приведенные в табл. 3.

Таблица 3. Физико-химические характеристики сорбента из фильтра газоочистки в динамике эксплуатации

Продолжительность эксплуатации, мес	pH	Влажность, %
1	7,4	10,0
2	6,0	13,2
3	4,5	15,9

При этом подавляется развитие нейтральных и ацидофобных видов бактерий, таких как метилотрофные и нитрифицирующие. Необходимо отметить, что метанотрофные бактерии обладают аммонийоокисляющей способностью и, при учете нитрифицирующих бактерий, могут увеличить показатели концентрации бактерий этой эколого-трофической группы. Но это явление не влияет на справедливость установленных тенденций воздействия ассоциации тиобацилл на другие эколого-трофические группы.

Результаты исследования эффективности очистки газообразной среды от H_2S , CH_4 и NH_3 представлены в табл. 4.

Таблица 4. Эффективность очистки газовой среды в лабораторной установке

Период эксплуатации, мес	Этап контроля	Вид газообразного загрязнения					
		H_2S		CH_4		NH_3	
		Концентрация, мг/м ³	Эффект очистки, %	Концентрация, об. %	Эффект очистки, %	Концентрация, мг/м ³	Эффект очистки, %
1	До очистки	20,0	50,0	4,0	12,0	5,0	60,0
	После очистки	10,0		3,5		2,0	
2	До очистки	22,0	72,7	3,5	3,0	—	—
	После очистки	6,0		3,4		—	
3	До очистки	22,1	95,5	4,0	0,0	—	—
	После очистки	1,0		4,0		—	

Очистка газообразной среды от CH_4 после фильтрации через загрузку из активированного угля происходила только в первый месяц эксплуатации установки. При дальнейшей работе фильтра эффект удаления этого соединения стал снижаться и через три месяца упал до нуля. В то же время, эффект удаления H_2S стабильно возрастал и через три месяца достиг практически ста процентов. Эти данные хорошо согласуются с данными микробиологических исследований, показывающих динамику развития микробиоценозов, способных окислять сероводород и метан (табл. 2).

Таким образом, до удаления H_2S из очищаемой газовой среды, метаболизм тиобацилл будет подавлять развитие метилотрофных бактерий. Поэтому для очистки газообразных выбросов из канализационных сетей от метана необходимо пространственно и во времени разделить зону развития ацидофильных тиобацилл, окисляющих серосодержащие соединения, и зону развития метилотрофных бактерий, окисляющих метан.

Для реализации такой последовательной очистки газообразных выбросов, содержащих H_2S , SO_2 , NH_3 и CH_4 , можно использовать установку (биореактор с омываемым слоем), высота которой позволяет пространственно разделить микробиоценозы, окисляющие H_2S и NH_3 (в которых доминируют тиобациллы и нитрифицирующие) и окисляющие CH_4 (в которых доминируют метанотрофные микроорганизмы) или установку, включающую два биореактора: один для окисления хорошо растворяющихся в воде газообразных примесей (H_2S , SO_2 , NH_3), второй – для окисления плохо растворяющихся газообразных соединений (CH_4). В каждом реакторе для повышения скорости процессов необходимо использовать загрузку с иммобилизованными микроорганизмами.

Установка подобного принципа (с двумя биореакторами) была использована [7] для очистки дымовых газов. Однако, установка для очистки газовых выбросов из канализационных сетей, по нашему мнению, должна иметь ряд существенных отличий (рис. 2). В такой установке (рис. 2) очищаемый газ подается (как и при сухой фильтрации) в нижнюю часть установки (1) – нижний

Биореактор с иммобилизованными микроорганизмами. По своим технологическим характеристикам он совмещает свойства биофильтра и биореактора с омываемым слоем. В качестве фильтрующей загрузки и подложки для иммобилизации микроорганизмов в нижнем биореакторе можно использовать различные носители, устойчивые к высоким (до 10%) концентрациям серной кислоты. В лабораторной

установке использовали лавсановые ерши, плотно упакованные в установке. Влажности газовых выбросов из канализационных сетей достаточно для создания оптимальных условий развития микроорганизмов в пленочной влаге. Кроме того, в этом биофильтре можно предусмотреть увлажнение питательной средой, подаваемой в верхний биореактор. Хорошо растворяющиеся в воде газы - H_2S и NH_3 , как свидетельствует опыт применения биоскрубберов [9], легко переходят в

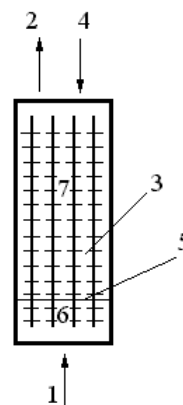


Рис. 2. Принципиальная схема установки для биотехнологической очистки газовых выбросов из канализационных сетей: 1 – подаваемые газовые выбросы; 2 – отведение очищенного газового выброса; 3 – биореактор с иммобилизованными микроорганизмами; 4 – дозатор питательной среды; 5 – условная граница между зоной окисления H_2S , SO_2 и NH_3 и зоной окисления CH_4 ; 6 – зона окисления H_2S , SO_2 и NH_3 – первая секция (нижний биореактор); 7 – зона окисления CH_4 – вторая секция (верхний биореактор)

водную фазу. Плохо растворимый в воде CH_4 , минуя нижний биореактор поступает в верхний биореактор с омываемым слоем и иммобилизованными на нем микроорганизмами.

Питательную среду подают дозатором через спринклерное устройство (4) сверху навстречу потоку газа. Очищенный газ отводят через штуцер в верхней части биореактора (2). В первом биореакторе (6) после инокуляции путем автоселекции в среде с H_2S и NH_3 формируется микробиоценоз, в котором доминируют хемолитоавтотрофные бактерии – тиобациллы и нитрифицирующие. Во втором биореакторе с омываемым слоем (7), необходимо использовать метанотрофные бактерии.

Список литературы: 1. Троценко Ю.А. Биохимия и физиология метилотрофов / Троценко Ю.А. – Пушино: НЦБИАН ССР, 1987. – 177 с. 2. Кондратьева Е.Н. Хемолитотрофы и метилотрофы / Кондратьева Е.Н. – Учебное пособие. – М.: МГУ, 1983. – 172 с. 3. Малащенко Ю.Р. Метаноокисляющие микроорганизмы / Малащенко Ю.Р. – М.: Наука, 1978. – 197 с. 4. Рост микроорганизмов на C_1 -соединениях / Коллектив авторов. – Пушино: НЦБИАН ССР, 1977. – 234 с. 5. Бахарева А.Ю. Химический состав газообразных выбросов из канализационных сетей / А.Ю. Бахарева, В.А. Юрченко, Е.В. Бригада // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2008. – Вип. 46. – С. 223-228. 6. Мякенький В.И. Микробиологическое окисление метана угольных шахт / Мякенький В.И., Курдиш И.К. – К.: Наук. думка, 1991. – 148 с. 7. Куликов Н.И. Установка для исследования процессов биохимической очистки промышленных газовых выбросов / Н.И. Куликов, А.А. Эннан, В. В. Костик, М.Г. Бельдий // Хімія та технологія води. – К.: Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України. – 1995. – № 6 – С. 621-624. 8. Биология метанобразующих и метаноокисляющих микроорганизмов / Малащенко Ю.Р., Хайер Ю., Бергер У. и др. – К.: Наукова думка, 1993. – 255 с. 9. Волошина О.С. Исследование очистки газовых выбросов сульфат-целлюлозного производства методом микробиологического дезодорирования / О.С. Волошина, С.Ю. Иванян // Тезисы докладов семинара «Обезвреживание отходов химических производств с использованием биологических систем», 5-10 декабря 1987г., Донецк. – Черкассы: ОНИИТЭХИМ, 1987. – С. 46-48. 10. Шлегель Г. Общая микробиология / Шлегель Г. – М.: Мир, 1987. – 566 с. 11. Каравайко Г.И. Микроорганизмы и их роль в биогеотехнологии металлов / Каравайко Г.И. – М.: Центр международных проектов ГКНТ. – 1989. – 149с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 621.793

О.В. ЦЫГАНКОВА, асп., ЗГИА, Запорожье

С.Г. ЕГОРОВ, канд.техн.наук, доц., ЗГИА, Запорожье

И.Ф. ЧЕРВОНЫЙ, докт. техн. наук, проф.,зав.каф., ЗГИА, Запорожье

Р.Н. ВОЛЯР, ст. преп., ЗГИА, Запорожье

О ПОТЕНЦИАЛЕ ОГНЕВОГО РАФИНИРОВАНИЯ МЕДИ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Робота присвячена аналізу виробництва міді з вторинної сировини на підприємствах України. Показане, що в певних умовах технологія одержання високоякісної міді може закінчуватися на операції вогневого рафінування.

Ключові слова: розплав, вогневе рафінування, домішки

Работа посвящена анализу производства меди из вторичного сырья на предприятиях Украины. Показано, что в определенных условиях технологическая цепочка получения высококачественной меди может заканчиваться на операции огневого рафинирования.

Ключевые слова: расплав, огневое рафинирование, примеси

Work is devoted the analysis of copper manufacture from secondary raw materials at the factory of Ukraine. It is shown that under certain conditions the production string of high-quality copper production can come to an end on operation of fire refinement.

Key words: melt, fire refinement, impurity

Введение

На протяжении многих десятилетий основными потребителями меди и сплавов на ее основе являются электротехническая, электронная, химическая, строительная промышленности, машиностроение, транспорт и др. [1,2]. Однако в последние годы наблюдается тенденция к расширению традиционных областей применения меди, особенно возросло потребление меди в строительной промышленности [3]. В развитых странах медь активно используют для производства трубопроводов для холодной и горячей воды, трубопроводов для транспортировки бытового газа [4]. Все это обусловило рост производства и потребления меди до начала мирового экономического кризиса в 2008 г., который привел к падению цен на медь и резкому снижению производства меди. После кризиса производство меди вновь стало расти, о чем свидетельствует рост цен на медь на Лондонской бирже металлов (рис. 1) [5,6].

На Украине существуют перспективные месторождения меди, но их промышленное освоение не ведется [7]. Поэтому единственным внутренним источником сырья меди являются лом и промышленные отходы [8], а переработка рудного сырья должна будет покрывать дефицит баланса между потреблением и производством меди. Кроме того, переработка вторичного сырья позволит рационально расходовать природные ресурсы, снизить техногенную нагрузку на окружающую среду.

По оценке авторов [9], которые рассматривали транспортные средства как источник образования металлолома, на Украине фонд меди, находящейся в транспортных средствах железнодорожного, автомобильного, водного и воздушного транспорта, составляет около 244 тыс.т. Структура содержания меди в каждом виде транспортных средств представлена на рис.2.

Авторы [9] отмечают, что большая часть транспортных средств работает дольше нормативного срока, а у части транспортных средств нормативный срок эксплуатации подходит к концу.

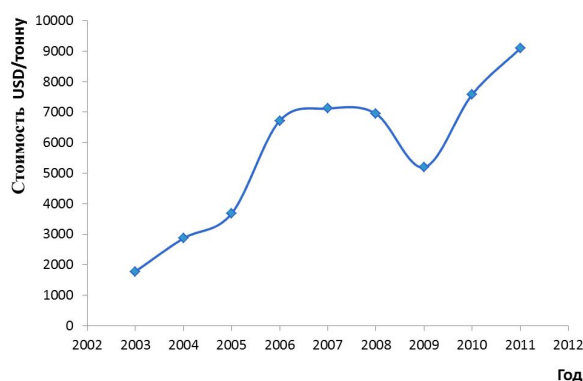


Рис. 1. Динамика среднегодовой цены на 1 тонну меди на Лондонской бирже металлов

В связи с низкими темпами технического перевооружения промышленности, значительным спадом производства в период 2008-2009 гг. и высоких цен на медное вторичное сырье на Украине снизились темпы сбора амортизационного и оборотного лома.

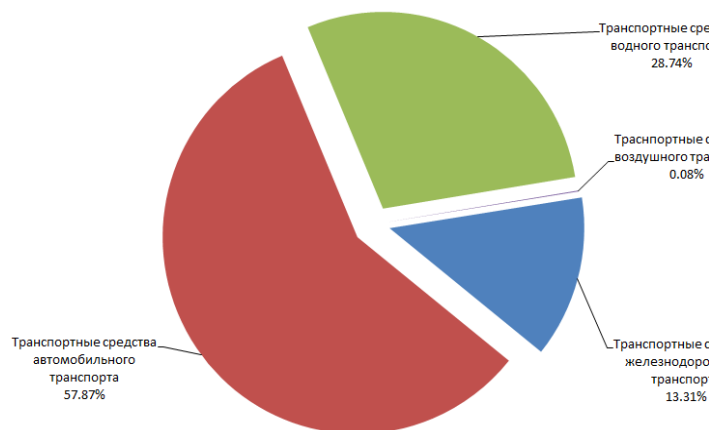


Рис. 2. Содержание меди в транспортных средствах различных видов транспорта

Цель

Провести термодинамический анализ реакций удаления примесей из расплава меди в процессе огневого рафинирования.

Основная часть

В технологической цепочке производства меди электротехнического назначения присутствуют два рафинировочных процесса – огневое и электролитическое рафинирование. Такое построение процесса рафинирования обходится дешевле, чем прямая электролитическая очистка. Огневое рафинирование рассматривается как промежуточная операция, задача которой заключается в получении промежуточного продукта (медные аноды) заданного состава. Однако в некоторых случаях, когда медь не содержит благородных металлов или отсутствует необходимость получения очень чистой меди, ее очистку ограничивают огневым рафинированием. Полученную в этом случае медь используют для проката на лист или для приготовления ряда сплавов.

Данная технология имеет ограничения, сдерживающие расширения производства катодной меди, особенно в странах, не имеющих промышленных запасов медьсодержащих руд: 1) отсутствие во вторичном сырье драгоценных и редких металлов, извлечение которых на стадии электролитического рафинирования обеспечивает приемлемую стоимость конечной продукции; 2) необходимы значительные производственные площади для размещения электролизных ванн; 3) необходимы водоочистные сооружения для регенерации и нейтрализации кислотного электролита; 4) возрастает экологическая нагрузка на окружающую среду. Перечисленные ограничения вынуждают к расширению применения огневого рафинирования как последнего переддела в производстве качественной меди. В результате такого подхода на стадии огневого рафинирования будет производиться не полупродукт, а готовая высококачественная медь, идущая на изготовление требуемых заказчиком изделий.

Основной задачей огневого рафинирования является удаление примесей из расплава меди в результате продувки его воздухом при температуре 1100 °С. При этом происходит окисление меди и примесных элементов, оксиды которых переходят в шлак:



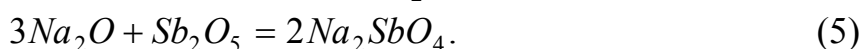
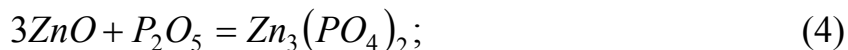
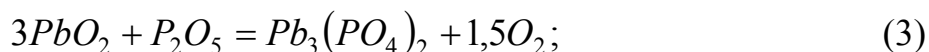


Остаточное содержание примесей определяется равновесием реакции (2).

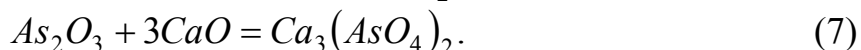
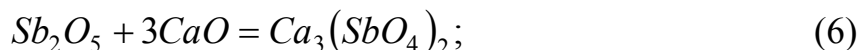
Возможность рафинирования меди путем продувки расплава воздухом под первичным шлаком имеет термодинамические ограничения [10,11]. Остаточная концентрация примеси в расплаве зависит не только от концентрации кислорода в расплаве, но и от активности оксида примеси в шлаке. Чем меньше активность примеси в шлаке, тем глубже рафинирование за счет сдвига равновесия реакции окисления примеси в сторону продуктов реакции. Поэтому для максимального удаления примесей в окислительном периоде рафинирования необходимо постоянно удалять образующийся шлак.

Одним из способов повышения скорости и полноты протекания процессов удаления примесей является применение порошкообразных флюсов [10], загружаемых на зеркало расплава или подаваемых непосредственно в объем расплава. В состав смеси рафинирующих флюсов могут входить гексаметафосфат натрия, фосфид меди, кальцит и др.

Добавление гексаметафосфата натрия ($Na_6P_6O_{18}$) и фосфида меди (Cu_3P) способствует образованию кислого шлака с низкой вязкостью и связыванию некоторых примесных элементов в сложные соединения в результате взаимодействия оксидов этих примесей с P_2O_5 и Na_2O :



Введение кальцита ($CaCO_3$) призвано удалить примеси сурьмы и мышьяка:

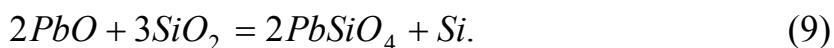


Протекание реакций (3)-(7) возможно с термодинамической точки зрения (рис.3), наиболее отрицательным потенциалом обладают реакции (3) и (6), более положительным потенциалом – (4) и (5). Реакции перехода в шлак оксидов свинца, сурьмы и мышьяка протекают с более высокой скоростью, чем для оксида цинка.

Для дополнительной очистки меди от свинца применяют кварцевый флюс с целью связывания PbO в силикат [11]:



Однако, как показывают термодинамические расчеты, более вероятно протекание следующей реакции (рис.4):



Образование силиката свинца облегчает переход свинца в шлак из-за меньшей плотности силиката в сравнении с глетом (PbO).

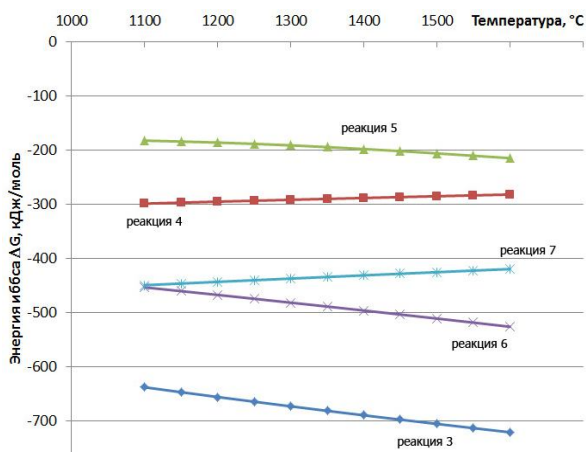


Рис. 3. Зависимость энергии Гиббса от температуры для реакций удаления примесей (3)-(7)

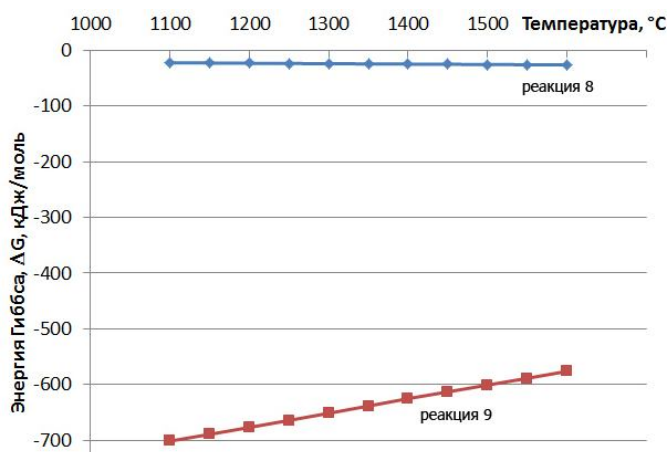
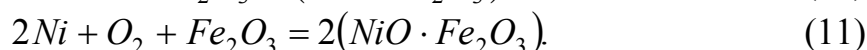
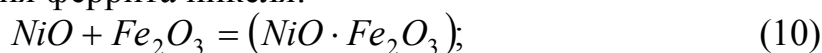


Рис. 4. Зависимость энергии Гиббса от температуры для реакций образования силикатов свинца

Очистке расплава меди от никеля способствует добавление оксида железа Fe_2O_3 с целью создания ферритных шлаков. Предполагают протекание следующих реакций образования феррита никеля:



Изобарный потенциал образования феррита никеля в присутствии кислорода значительно выше изобарного потенциала взаимодействия оксидов никеля и железа (рис.5). Введение оксидов железа на завершающей стадии окислительного рафинирования позволяет удалить никель до сотых долей процента [10].

В результате применения порошкообразных флюсов в определенной последовательности можно добиться высокой степени рафинирования расплава меди от сопутствующих примесей – железа, цинка, мышьяка, сурьмы, никеля.

Выводы

Предприятия Украины, производящие медь и сплавы на ее основе, работают на сырье низкого качества, поэтому необходим комплексный подход к заготовке и сортировке лома, а также к производству меди огневого рафинирования с целью получения высококачественной меди и конкурентоспособной продукции из нее. При модернизации производства необходимо повышать эффективность глубокого рафинирования расплава меди.

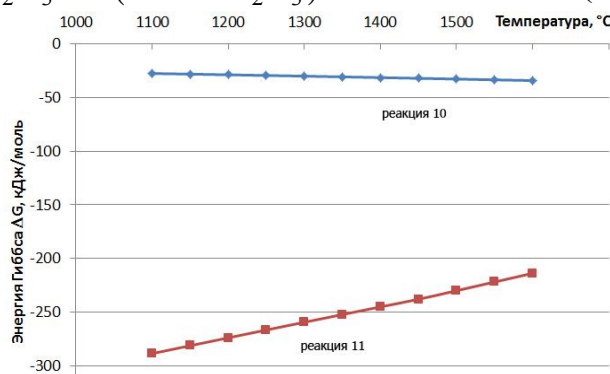


Рис. 5. Зависимость энергии Гиббса от температуры для реакций образования феррита никеля

Список литературы: 1. Савенков Ю.Д. Рафинированная медь Украины [Текст] / Ю.Д. Савенков, В.И. Дубоделов, В.А. Шпаковский, В.А. Кожанов, Е.В. Штепан. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2008. – 176 с., табл. 32, ил. 68. – Библиогр.: с.172. – 150 экз. – ISBN 978-966-348-

147-0. 2. *Бредихин В.Н.* Медь вторичная: монография [Текст] / В.Н. Бредихин, Н.А. Маняк, А.Я. Кафтаненко – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 416 с., табл. 107, ил. 145. – Библиогр.: с. 404-407. – 300 экз. – ISBN 996-8388-12-7. 3. *Червоний И.Ф.* Медь – сестра украинской промышленности [Текст] / И.Ф. Червоний, В.И. Иващенко, С.Г. Егоров // *Металлургический компас*. – 2006. - №5(41). – С.32-35. 4. *Чернобаев В.М.* Неосвоенные ниши [Текст] / В.М. Чернобаев // *Металл*. – 2004. - №9. – С.70-75. 5. Динамика цен на медь (LME.Copper). USD/тонна [Электронный ресурс] // Режим доступа к ресурсу: <http://www.news.yandex.ru/quotes/1501.html> 6. *Игровская Л.В.* Конъюнктура мирового рынка меди в 2007-2008 гг. [Электронный ресурс] / Л.В. Игровская // Режим доступа к ресурсу: <http://www.mineral.ru/Analytics/worldtrend/108/236/index.html> 7. *Савенков Ю.Д.* Флагман цветной металлургии Украины [Текст] / Ю.Д. Савенков // *Бизнес-мост*. – 2006. - №8. – С.28-29. 8. *Кожанов В.А.* Обновление и перспективы развития металлургии вторичных цветных металлов Украины [Текст] / В.А. Кожанов, В.М. Чернобаев, В.А. Попов // *Рынок вторичных металлов*. – 2006. - №4. – С.44-48. 9. *Гребельный А.В.* Оценка фонда цветных металлов в транспортных средствах Украины: монография [Текст] / А.В. Гребельный, В.А. Попов, А.В. Самылин, В.А. Токарева. – Д.: Кальмиус, 2011. – 92 с. – Библиогр.: с. 91. – 60 экз. – ISBN 978-966-8388-53-3. 10. *Савенков Ю.Д.* Исследование возможности глубокого огневого рафинирования лома и отходов меди [Текст] / Ю.Д. Савенков, В.А. Шпаковский, В.А. Кожанов // *Металл и литье Украины*. – 2007. - №3. – С.45-47. 11. *Кожанов В.А.* Термодинамические предпосылки прецизионного огневого рафинирования меди из лома и отходов [Текст] / В.А. Кожанов, Ю.Д. Савенков, В.А. Шпаковский // *Металл и литье Украины*. – 2007. - №8. – С.34-37.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 624.138

В.К. ЖДАНИЮК, докт.техн.наук, зав.каф., ХНАДУ, Харків

Я.І. ПАНАСЮК, асп., ХНАДУ, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦЕМЕНТОГРУНТУ З ДОБАВКОЮ «ROADCEM»

Досліджено вплив добавки «RoadCem» при укріпленні ґрунту цементом на показники міцності при стиску та на розтяг при вигині. Оцінено морозостійкість ґрунту укріпленого цементом сумісно з добавкою «RoadCem».

Ключові слова: цементогрунт, міцність, добавка «RoadCem»

Исследовано влияние добавки «RoadCem» при укреплении грунта цементом на показатели прочности при сжатии и на растяжение при изгибе. Оценена морозостойкость грунта укреплённого цементом совместно с добавкой «RoadCem».

Ключеві слова: цементогрунт, прочность, добавка «RoadCem»

The influence of additives «RoadCem» by strengthening soil cement on the performance of compression strength and tensile at a bend. Investigated soil frost fortified cement together with the addition of «RoadCem».

Key words: soil strengthened by cement, strength, additive «RoadCem»

1. Вступ та актуальність роботи

У дорожньому будівництві, як і в інших галузях народного господарства підвищення якості робіт, зниження собівартості будівництва за рахунок економії будівельних матеріалів, використання новітніх технологій та матеріалів є важливою задачею. Відомо [1-4], що укріплені ґрунти дешевші привозних дорожньо-будівельних матеріалів, а шари основи дорожнього одягу, що

влаштовані з їх використанням, характеризуються більшою щільністю та міцністю, порівняно із шарами з дискретних дорожньо-будівельних матеріалів. За рахунок використання меншої кількості привозних матеріалів та зменшення товщини щебневих шарів в конструкції дорожнього одягу, досягається значний економічний ефект, порівняно з традиційною технологією будівництва дорожніх одягів. Очевидно, що в умовах недостатнього фінансування дорожньої галузі, зростання цін на енергоносії та кондиційні дорожньо-будівельні матеріали, широке застосування при будівництві шарів дорожніх одягів технології укріплення ґрунтів повинне набувати особливої актуальності. Із міркувань економії матеріалів, трудових ресурсів, пального, охорони навколишнього середовища доцільно більш широко застосовувати ґрунти укріплені цементом при будівництві шарів основ дорожніх одягів. Перспективним є використання ґрунтів укріплених цементом сумісно з добавками, які підвищують довговічність матеріалу в конструкції дорожнього одягу.

Ринок дорожньо-будівельних матеріалів пропонує різні добавки до цементоґрунтових сумішей, призначених для будівництва шарів дорожніх одягів, серед яких є добавка «RoadCem», що розроблена компанією «PowerCemTechnologies» B.V. і виготовляється в Нідерландах у відповідності з стандартами ISO 9001 та ISO 14002. «RoadCem» – це сірий порошкоподібний матеріал не розчинний у воді, який рекомендується застосовувати разом з цементом при укріпленні ґрунтів, призначених для будівництва шарів основ дорожніх одягів. Виробники вказаної добавки стверджують [5], що при її застосуванні принципово змінюється процес структуроутворення цементоґрунту. При введенні добавки «RoadCem» в цементоґрунті починають формуватись голковидовжені, міцні кристалічні зв'язки. Добавка «RoadCem» є екологічно безпечним матеріалом, який працює з будь-якими типами ґрунтів, підвищує міцність, покращує деформативність і знижує водопроникність шарів дорожніх одягів, побудованих з цементоґрунтів. Проте, на сьогодні недостатньо вивченою є морозостійкість цементоґрунту з вказаною добавкою.

2. Результати випробувань

Для порівняльних експериментальних досліджень кінетики структуроутворення та морозостійкості в лабораторних умовах були виготовлені зразки-циліндри діаметром та висотою 50 мм з цементоґрунту (контрольні зразки) та цементоґрунту з різною кількістю добавки «RoadCem». Як ґрунт використовувався легкий супісок. В якості мінерального в'язучого використовували портландцемент марки М 400 виробництва Балакліївського цементного заводу. Концентрація цементу у складі цементоґрунту складала 12 % від маси сухого ґрунту. Концентрація добавки «RoadCem» в складі цементоґрунту складала 0,02 % та 0,04 % від маси сухого ґрунту. Кількість води, що забезпечує максимальну щільність виявилась однаковою для трьох сумішей і становила 12% від маси сухої суміші. Зразки формували на гідравлічному пресі шляхом прикладання ущільнюючого навантаження величиною 150 кгс/см² протягом 3 хвилин. Заформовані зразки зберігали в нормальних умовах, згідно ДСТУ БА. 1.1-59-95 , та випробовували на 3, 7, 14, 21, 28 добу. При цьому визначали показники границі міцності при стиску та на розтяг при вигині.

Показники границі міцності при стиску, а також на розтяг при вигині були прийняті для дослідження кінетики процесу структуроутворення цементогрунту без добавки та з добавкою «RoadCem». Для дослідження інтенсивності впливу на показник границі міцності при стиску кількості змінних циклів заморожування-відтавання приймалися зразки цементогрунту без добавки та з добавкою після 28 діб тужавіння цементу.

Результати виконаних експериментальних досліджень показують (рис.1), що в процесі тужавіння спостерігається зростання показників границі міцності при стиску та на розтяг при вигині цементогрунту, як з добавкою «RoadCem», так і без неї. При цьому цементогрунт з добавкою «RoadCem» характеризується дещо більшими значеннями показників границі міцності при стиску та на розтяг при вигині. Із зростанням концентрації досліджуваної добавки в складі цементогрунту показники його міцності теж зростають. Показник границі міцності при стиску зразків цементогрунту у віці 28 діб з добавкою «RoadCem» у кількості 0,02 % та 0,04 % від маси сухого ґрунту, збільшується відповідно на 12 % та 18 %, порівняно з контрольними зразками цементогрунту без досліджуваної добавки. Показник границі міцності на розтяг при вигині зразків цементогрунту у віці 28 діб з аналогічною концентрацією добавки збільшується відповідно на 16 % і 32 %, порівняно з контрольними зразками цементогрунту без добавки.

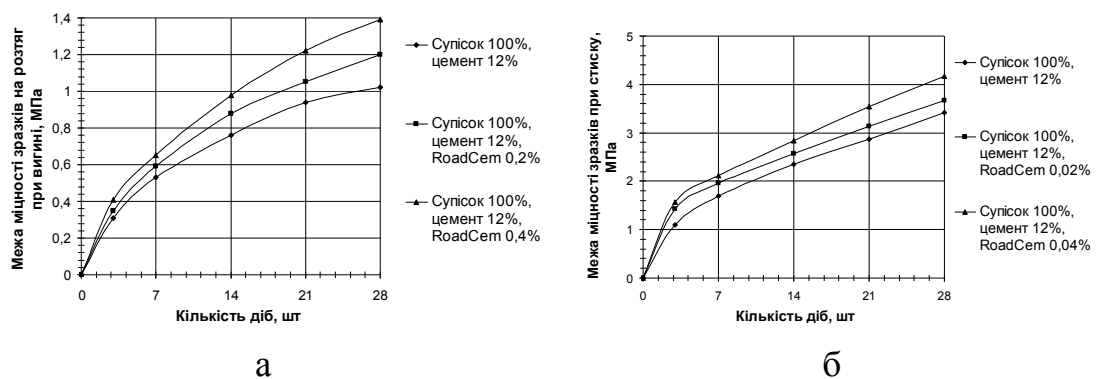


Рис. 1. Кінетика тужавіння цементогрунту

Результати дослідження морозостійкості показують (рис.2), що із збільшенням кількості змінних циклів заморожування-відтавання показники границі міцності при стиску зразків цементогрунту знижуються, як з добавкою «RoadCem», так і без неї. При цьому міцність при стиску після 30 циклів заморожування-відтавання зразків цементогрунту з добавкою «RoadCem» у кількості 0,02 % та 0,04 % від маси сухого

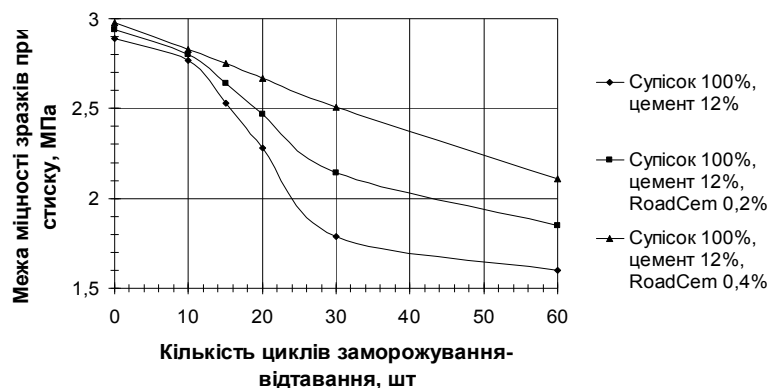


Рис. 2. Залежність границі міцності при стиску зразків цементогрунту від кількості циклів заморожування-відтавання

грунту, залишається більшою, відповідно на 15 % та 22 %, порівняно з контрольними зразками цементогрунту без досліджуваної добавки. Більші значення показника міцності для цементогрунту з досліджуваною добавкою можливо пояснити формуванням більш щільної структури матеріалу, про що свідчать менші значення пористості зразків цементогрунту з добавкою «RoadCem» у кількості 0,02 % та 0,04 % від маси сухого ґрунту, відповідно на 2% та 3%, порівняно з контрольними зразками цементогрунту у віці 28 діб без досліджуваної добавки.

3. Висновок

Результати виконаних досліджень свідчать про те, що введення добавки «RoadCem» до складу цементогрунту на основі легкого супіску позитивно позначається на зростанні показників його міцності як стиск так і на розтяг при вигині, а також морозостійкості.

Список літератури: 1. Агапова Р.А., Любимова Т.Ю. Исследование прочностных и деформационных свойств цементогрунтов при различных добавках цемента / Р.А. Агапова, Т.Ю. Любимова // Труды СоюздорНИИ, Вып.5. – 1965. – С. 144 – 156. 2. Безрук В.М., Величковский В.И., Глаголева К.М. и др. Совершенствование технологи и организации работ по устройству дорожных одежд с применением цементогрунта // Труды СоюздорНИИ, Вып.25. – 1968. – С. 4 – 34. 3. Бутлицкий Ю.В. Исследование прочности дорожных одежд из цементогрунта в пустынных районах / Ю.В. Бутлицкий // Труды СоюздорНИИ, Вып.39. – 1970. – С. 60 – 85. 4. Дудкин А.С. Использование сухих цементогрунтовых смесей для устройства укрепленных оснований дорожных одежд /А.С. Дудкин // Труды СоюздорНИИ «Новое в разработке комплексных методов укрепления грунтов при строительстве автомобильных дорог». – 1984. – С. 60 – 65. 5. RoadCem – технология строительства дорог [Електронний ресурс] - Режим доступу : http://www.ubm.lg.ua/page/road_cem.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 656.13-051:629.3:612.01

Н.У. ГЮЛЕВ, канд.техн.наук, ХНАГХ, Харьков

О ВЛИЯНИИ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБИЛЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДИТЕЛЯ

Вивчені питання впливу ергономічних характеристик автомобіля на функціональний стан водія. Представлені деякі результати цих досліджень.

Ключові слова: функціональний стан, показник активності регуляторних систем, ергономіка автомобіля.

Изучены вопросы влияния эргономических характеристик автомобиля на функциональное состояние водителя. Представлены некоторые результаты этих исследований.

Ключевые слова: функциональное состояние, показатель активности регуляторных систем, эргономика автомобиля.

Studied the impact of ergonomics on the functional state of the vehicle driver. Some results of these studies.

Keywords: functional status, the rate of activity of regulatory systems, ergonomics car.

Введение

Деятельность водителя связана с постоянно изменяющейся дорожно-транспортной обстановкой. На него влияют как факторы внешней среды, так и параметры микроклимата кабины. Водитель постоянно воспринимает и обрабатывает информацию, поступающую к нему из внешней среды и с контрольных приборов и датчиков. Кроме того, он испытывает отрицательное воздействие шума и вибраций, которые приводят к развитию его утомления и снижения уровня работоспособности. В связи с этим, эргономике автомобиля отводится важная роль в обеспечении надежности работы водителя и поддержания уровня его работоспособности длительное время.

Постановка проблемы

Эргономика – наука, целью которой является приспособление труда к физиологическим и психическим возможностям человека для обеспечения наиболее эффективной работы, которая не создает угрозы здоровью человека и выполняется при минимальной затрате биологических ресурсов [1].

Из определения следует, что необходимо оборудовать рабочее место водителя таким образом, чтобы он мог выполнять необходимые действия по управлению автомобилем с минимальными энергетическими затратами.

В транспортном потоке передвигаются одновременно транспортные средства различных марок и типов. Водители, управляющие ими, испытывают различные психо-эмоциональные нагрузки в зависимости от конструктивных особенностей автомобилей, факторов внешней среды, микроклимата в кабине и т.д. Микроклимат кабины – это совокупность температуры воздуха, его влажности и

скорости передвижения. Температура воздуха в кабине должна быть в пределах 15-25° С [2]. Большое значение для обеспечения нормальной работы водителя имеют шум и вибрации, зависящие от эргономических характеристик автомобиля [2,3]. Допустимым пределом шума является 75 дБ при частоте 1000 Гц. Под влиянием шума увеличивается скрытый период реакции, ослабляется зрение.

Шум, как и вибрации, вызывают ухудшение функционального состояния водителя, вследствие которого быстро развивается утомление [2,3].

Все это свидетельствует о необходимости проведения исследований по оценке влияния эргономических характеристик автомобиля на функциональное состояние водителя.

Анализ последних исследований и публикаций

Вопросы эргономики в системах «человек-техника» рассматривались в работах [1-8].

В работах [1,2] освещены вопросы влияния микроклимата, вибраций и шума на человека. Отмечены диапазоны допустимых значений некоторых параметров. Например, допустимым пределом шума является 75 дБ при частоте 1000 Гц. Под влиянием шума увеличивается скрытый период двигательной реакции, ослабляется зрение, быстро развивается утомление. Однако в этих работах не установлены закономерности влияния этих параметров на функциональное состояние водителя.

Авторы работ [3-6] рассмотрели вопросы приема и обработки информации человеком. Однако в них не в полной мере изучены проблемы зависимости состояния человека от эргономических характеристик техники.

В работе [7] отражены вопросы влияния отравляющих веществ, содержащихся в отработавших газах автомобиля на окружающую среду. Подчеркнуто их отрицательное влияние на организм человека.

Автор работы [8] исследовал влияние различных типов автомобилей на функциональное состояние водителей маршрутного пассажирского транспорта. Установлена взаимосвязь между функциональным состоянием водителя и ценой автомобиля. Однако влияние эргономических характеристик немаршрутного транспорта на функциональное состояние водителя не рассмотрены.

Цель исследования

Целью исследования является изучение влияния эргономических характеристик автомобиля на функциональное состояние водителя.

Основной материал

В процессе управления автомобилем водитель воспринимает информацию, проводит ее анализ, обработку и на их основе вырабатывает стратегию своего поведения. Оценка информации производится на основе ее сопоставления с концептуальной моделью ситуаций [4]. Концептуальная модель представляет собой результат осмысливания водителем сложившейся ситуации с учетом стоящих перед ним задач. Различают постоянную и оперативную концептуальные модели. При незнакомой ситуации оперативная концептуальная модель начинает формироваться в процессе непосредственного управления автомобилем. Это формирование описывается цепями Маркова [5].

Понятие системы «человек-машина» используется как в эргономике, так и в психологии труда. Поддержание этой системы в стабильном, работоспособном состоянии требует от водителя расхода энергетических затрат, которые приводят к развитию утомления. Утомление, возникающее у водителя автомобиля, следует считать комбинированным, так как в его работе элементы физического труда сочетаются с элементами интенсивной умственной деятельности и большим эмоциональным напряжением. Причем эмоциональное напряжение доминирует и является основным фактором, определяющим развитие его утомления [2].

Большое нервно-эмоциональное напряжение водителя обусловлено постоянной готовностью реагировать на различные внезапно возникающие изменения дорожной обстановки.

Дополнительными причинами эмоционального напряжения водителей являются: скорость движения, не соответствующая скорости потока транспортных средств; чувство ответственности за сохранность груза; безопасность пассажиров и свою собственную безопасность; неравномерность поступления информации, которая колеблется от полного отсутствия значимых раздражителей до десятков в минуту; частое принятие весьма ответственных решений.

Утомлению способствуют неудобное сиденье, низкая температура воздуха, частые перепады температуры в кабине автомобиля, плохая видимость. Также на развитие утомления влияют частые изменения освещенности и недостаточная освещенность дороги в темное время суток, шум, вибрация, попадание в кабину паров бензина или отработавших газов [2].

Утомление вызывается изменением функционального состояния водителя. Эргономические характеристики автомобиля оказывают влияние на изменение функционального состояния водителя.

С целью оценки влияния эргономических характеристик автомобиля на функциональное состояние водителя были проведены экспериментальные исследования, которые заключались в проезде водителя по одному и тому же маршруту в утренний период «пик» в разные дни на разных по классу автомобилях (сравнивались автомобили Skoda Superb 2008 года выпуска и автомобиль ВАЗ 2104 1988 года выпуска).

При этом происходила постоянная регистрация электрокардиограммы водителя для оценки его функционального состояния. Функциональное состояние оценивалась показателем активности регуляторных систем (ПАРС) организма по методу проф. Баевского Р.М. [9].

Результаты некоторых исследований приведены на рис.1. Длина маршрута была подобрана таким образом, чтобы водитель оказался в трех разных транспортных заторах. При этом для сравнения и анализа были допущены те случаи проезда, при которых начальные значения показателей активности регуляторных систем были одинаковые.

Как видно из рисунка, функциональное состояние водителя при проезде на автомобиле Skoda Superb значительно улучшается, чем при езде на автомобиле ВАЗ 2104. Разница в изменении функционального состояния в конце поездки составляет 1,2 балла. Это свидетельствует о том, что при поездке на автомобиле с лучшими эргономическими характеристиками, утомление у водителя развивается в меньшей степени.

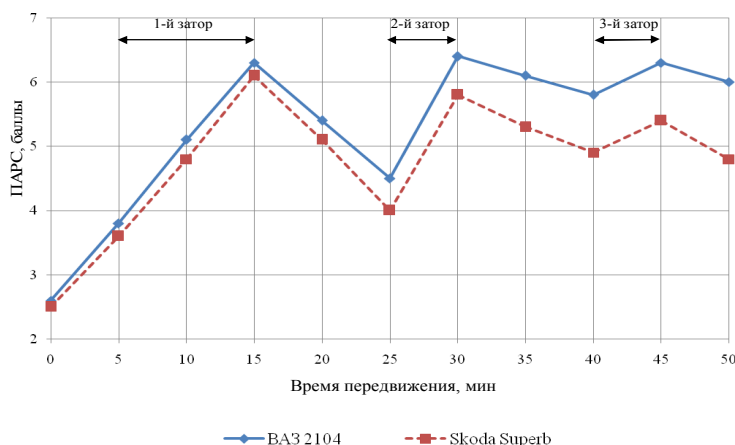


Рис. 1. Изменение функционального состояния одного и того же водителя при передвижении на автомобилях разных марок

При нахождении водителя в транспортных заторах тип и класс автомобиля не оказывает особого влияния на его функциональное состояние.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведенные исследования свидетельствуют об объективном влиянии эргономических характеристик автомобиля на изменение функционального состояния водителя во время движения. При этом выявлено, что эргономические характеристики автомобиля не оказывают существенного влияния на функциональное состояние водителя при нахождении в транспортном заторе. Это свидетельствует о значимости и преобладании психо-эмоциональных свойств водителя над условиями комфорта. Однако во время движения автомобиль с лучшими эргономическими характеристиками оказывает благоприятное воздействие на водителя, улучшая его функциональное состояние. Дальнейшие исследования могут быть направлены на установление аналитических зависимостей между эргономическими характеристиками автомобиля и функциональным состоянием водителя.

Список литературы: 1.Эргономика. Проблемы приспособления условий труда к человеку / Под ред. В.Ф. Венда. — М. : Мир, 1971. — 424 с. 2.Мишури́н, В. М. Психофизиологические основы труда водителей автомобилей : учеб. пособие / В. М. Мишури́н, А. Н. Романов, Н. А. Игнатов. — М. : МАДИ, 1982. — 254 с. 3.Гаврилов, Э. В. Эргономика на автомобильном транспорте / Э. В. Гаврилов. — К. :Техника, 1976. — 152 с. 4.Зинченко, В. П. Эргономические основы организации труда / В. П. Зинченко, В. М. Мунипов, Г. Л. Смолян. — М. : Экономика, 1974. — 240 с. 5.Системологія на транспорті : підручник у 5 кн. / під заг. ред. Дмитриченка М.Ф.— кн.5: Ергономіка / Е.В.Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К.Доля та ін. — К. : Знання України, 2008 р. — 256 с. 6.Зараковский, Г. М. Психофизиологический анализ трудовой деятельности / Г. М. Зараковский. — М. : Наука, 1966. — 114 с. 7.Хомяк, Я. В. Организация дорожного движения / Я. В. Хомяк. — К. : Вища школа, 1986. — 271 с. 8.Давідіч, Ю. О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водія / Ю. О. Давідіч. — Харків : ХНАДУ, 2006. — 292 с. 9.Баевский, Р. М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. Н. Кириллов, С. З. Клецкин. — М. : Наука, 1984. — 222 с.

Поступила в редколлегию 15.11.2011

Ю.А. ВАСИЛЕНКО, докт.техн.наук, проф., зав.каф., Закарпатський державний університет, Ужгород

Ф.Г. ВАЩУК, докт.техн.наук, проф., ректор Закарпатського державного університету, Ужгород

І.Ф. ПОВХАН, канд.техн.наук, доц., Закарпатський державний університет, Ужгород

В.В. ПОЛИЩУК, асп., Закарпатський державний університет, Ужгород

ГРУПОВА ТА ІНДИВІДУАЛЬНА ОЦІНКА ВАЖЛИВОСТІ БУЛЬОВИХ АРГУМЕНТІВ

Основна ідея даної статті оцінити важливість аргументів і груп аргументів булевих функцій, що є важливою задачею в теорії розпізнаванні образів.

Ключові слова: бульові функції, розпізнавання, важливість аргументів.

Основная идея данной работы оценить важность аргументов и групп аргументов булевых функций, что является важнейшей задачей в теории распознавания образов.

Ключевые слова: булевые функции, распознавание, важность аргументов.

The basic idea given robots to estimate importance of arguments and groups of arguments of binary functions that is the major problem in the theory of recognition of images.

Keywords: binary functions, recognition, importance of arguments.

Вступ

Задача вибору найбільш важливих аргументів і груп аргументів у двозначній логіці має важливу роль для швидкого отримання тієї чи іншої інформації про функцію. Вірний вибір аргументів, в яких зосереджена найбільш суттєва інформація про значення функції є найважливішою умовою успішного розв'язку задачі розпізнавання. Відсутність порівняно простих і ефективних критеріїв, методів визначення і пошуку найбільш важливих аргументів і груп аргументів визначає актуальність розв'язку даної задачі.

Аналіз впливу фіктивних і суттєвих змінних на значення булевої функції

Метою введення, вилучення фіктивних змінних є необхідність виконання логічних операцій над функціями. Оскільки операції над функціями двозначної логіки виконуються покомпонентно, то вони повинні мати однакову містність. Якщо функції мають різну містність, тоді спочатку перевіряють, чи функція більшої містності має фіктивні змінні, якщо так то їх вилучають. В протилежному випадку функції меншої містності доводять до функцій більшої містності шляхом введення потрібного числа фіктивних змінних [1].

Аналізуючи вплив кожного аргументу булевої функції на її значення можемо зробити такі висновки, змінна x_i є фіктивною, якщо значення функції не змінюються при зміні значення x_i , в протилежному випадку вона є суттєвою. Можемо сформулювати наступне запитання: Як ефективно і швидко визначити, які аргументи впливають на значення функції? Тобто за значенням функції визначити, які змінні є фіктивні. Ми надамо швидкі формули знаходження фіктивних змінних для функцій 2,3 і 4 аргументів ($N = 4, N = 8, N = 16$), які

найчастіше використовуються на практиці. Перевіряючи їх послідовно, ми швидко встановимо фіктивні і суттєві змінні для булевої функції.

Отже, для $n = 2$ ($N = 4$): якщо виконується

$$f_i = f_{\overline{i+\frac{N}{2}}}, \quad i = 1, \frac{N}{2} \quad (1),$$

тоді змінна x_1 - фіктивна.

$$x_2 - \text{фіктивна, якщо:} \quad f_i = f_{\overline{i+\frac{N}{4}}}, \quad i = 1, \frac{N}{4}, \quad (2)$$

$$f_k = f_{\overline{k+\frac{N}{4}}}, \quad k = \frac{N}{2} + 1, \frac{3N}{4}.$$

Для функції трьох змінних ($N = 8$), використовуючи формули (1) і (2), встановимо чи фіктивні є змінні x_1 і x_2 , відповідно. Для змінної x_3 встановимо, якою вона є для функції згідно наступної формули:

$$f_{2 \cdot i+1} = f_{2 \cdot i+2}, \quad i = 0, \frac{N}{2} - 1 \quad (3)$$

Аналізуючи змінні для функцій із чотирьох аргументів, змінна x_1 буде фіктивною, якщо виконується формула (1), для x_2 і x_4 користуємось відповідно формулами (2) і (3). А щоб визначити чи фіктивна змінна x_3 перевіримо наступне співвідношення:

$$f_{2 \cdot i+1} = f_{2 \cdot i+3}, \quad i = \{0, 2, 4, 6\}$$

$$f_{2 \cdot i} = f_{2 \cdot i+2}, \quad i = \{1, 3, 5, 7\}.$$

В протилежному випадку змінні суттєві і впливають на значення функції.

За результатами досліджень можна сказати, що на практиці досить зручно користуватися швидкими формулами знаходження фіктивних змінних. Це ще одна можливість оптимізації аналізу апарату двозначних функцій.

Оцінка важливості булевих аргументів відносно значення функції

Будемо розглядати функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, аргументи яких визначено на множині $E_2 = \{0, 1\}$, такі, що $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \in E_2$, коли $x_i \in E_2$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Компоненти самої функції $f = (f_1, f_2, \dots, f_N)$ будемо позначати $f_i = j$, $i = \overline{1, N}$, $j = \{0, 1\}$, де $N = 2^n$ ($n = 1, 2, \dots$).

Оцінка важливості окремих аргументів буде характеризувати інформацію, яку можна отримати про функцію $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, знаючи значення її аргументів. Таку оцінку назовемо оцінкою важливості W аргументу булевої функції x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) і визначимо її згідно формули із [2]:

$$W(x_n) = \frac{1}{N} \sum_{j \in E_2} \max_m b_j^m, \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (4)$$

де b_j^m ($j, m = 0, 1$) - кількість всіх наборів із m , у яких на двійкових наборах змінна x_i дорівнює j : $x_i = j$ ($i = 1, 2, \dots, n$). $N = 2^n$ ($n = 1, 2, \dots$), n - кількість аргументів булевої функції.

Формула (4) отримується із наступних міркувань. Величину b_j^m можна інтерпретувати як ймовірність того, що функція $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ приймає значення

f_k ($1 \leq k \leq N$) за умови, якщо значення на двійковому наборі аргументу x_i дорівнює j ($i=1,2,\dots,n$), $j=\{0,1\}$. Позначимо через $\rho_j = \max_m b_j^m$, ($j, m = 0,1$). Величина ρ_j представляє собою максимальну ймовірність. Можна сказати, що величина ρ_j представляє собою ту інформацію, яку можна отримати про значення функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, знаючи, що на наборі $(f_1, f_2, \dots, f_N)$ значення аргументу x_i ($i=1,2,\dots,n$) на двійкових наборах дорівнює j . Величина $W(x_n)$ визначена функцією (4), характеризує собою ту інформацію, яку можна отримати про функцію $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, знаючи значення аргументу x_i ($i=1,2,\dots,n$) на наборі $(f_1, f_2, \dots, f_N)$. Звідси випливає, що аргумент x_i ($i=1,2,\dots,n$), для якого ця інформація є найбільшою, і буде мати найбільш важливий вплив на значення булевої функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Розглянемо оцінку важливості груп аргументів [2]:

$$W(x_1, x_2, \dots, x_\gamma) = \frac{1}{N} \sum_{\Delta \in \Gamma} \max_m b_\Delta^m, \quad (5)$$

де $\Delta = t_1 t_2 \dots t_\gamma$ ($t_j \in E_2$, $j=1,2,\dots,\gamma$) - довільний набір значень аргументів. b_Δ^m - кількість всіх наборів, для яких виконується співвідношення $x_j = t_j$ ($j=1,2,\dots,\gamma$), t_j - значення аргументу x_j в наборі Δ , і $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = m$, $m = \{0,1\}$. Γ - множина всіх двійкових наборів.

Формулу (5) можна обґрунтувати так само, як і попередню. Величина b_Δ^m - ймовірність того, що функція двозначної логіки набуде значення f_k ($1 \leq k \leq N$) за умови, якщо значення аргументів з Δ будуть рівні t_j ($j=1,2,\dots,\gamma$). Аналогічно позначимо величину $\rho_\Delta = \max_m b_\Delta^m$, яка представляє ту інформацію, яку можна отримати про значення функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, якщо відомо, що на деяких наборах значення групи аргументів $x_1, x_2, \dots, x_\gamma$ дорівнює t_j ($j=1,2,\dots,\gamma$). Отже величина $W(x_1, x_2, \dots, x_\gamma)$, яка визначається функцією (5), характеризує ту інформацію, яку можна отримати про функцію $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, якщо відоме значення груп аргументів $x_1, x_2, \dots, x_\gamma$ на наборі Δ .

Формули (4) і (5) представляють собою деякі функціонали: вони встановлюють відповідність між множиною функцій (аргументів) з однієї сторони і деякою числовою множиною - з іншої. Оцінки важливості окремих аргументів і груп аргументів, визначені формулами (4) і (5), будемо називати відповідно функціоналом важливості аргументу (ФВА) і функціоналом важливості груп аргументів (ФВГА).

Відмітимо деякі властивості вказаних функціоналів:

- 1) $\frac{1}{N} \leq W(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 1$.
- 2) Для ФВГА W виконується властивість монотонності: при збільшенні числа аргументів у групі числове ФВГА не зменшиться.

Чим більше значення оцінки важливості даного аргументу (груп аргументів), тим важливіший його вплив на значення булевої функції.

Формули (4) і (5) застосуємо на простому прикладі:

Нехай нам задано аргументи x_1, x_2, x_3 і функцію $f(x_1, x_2, x_3)$ визначені на множині $E_2 = \{0,1\}$ у вигляді таблиці:

Таблиця 1. Аргументи x_1, x_2, x_3 і функція $f(x_1, x_2, x_3)$ визначені на множині $E_2 = \{0,1\}$

x_1	x_2	x_3	$f(x_1, x_2, x_3)$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

Обчислимо оцінки: $W(x_1), W(x_2), W(x_3)$ - за формулою (4). Знайдемо для кожного із аргументів величини b_j^m ($j, m = 0,1$):

для x_1 : $b_0^0 = 3, b_0^1 = 1, b_1^0 = 1, b_1^1 = 3$;

для x_2 : $b_0^0 = 2, b_0^1 = 2, b_1^0 = 2, b_1^1 = 2$;

для x_3 : $b_0^0 = 2, b_0^1 = 2, b_1^0 = 2, b_1^1 = 2$.

Підставимо знайдені значення у формулу (4), і обчислимо відповідні оцінки:

$$W(x_1) = \frac{1}{8}(\max(b_0^0, b_0^1) + \max(b_1^0, b_1^1)) = \frac{1}{8}(3 + 3) = \frac{6}{8};$$

$$W(x_2) = \frac{1}{8}(\max(b_0^0, b_0^1) + \max(b_1^0, b_1^1)) = \frac{1}{8}(2 + 2) = \frac{4}{8};$$

$$W(x_3) = \frac{1}{8}(\max(b_0^0, b_0^1) + \max(b_1^0, b_1^1)) = \frac{1}{8}(2 + 2) = \frac{4}{8}.$$

Звідси можемо зробити висновок, що найбільш важливим аргументом відносно функції $f(x_1, x_2, x_3)$ - x_1 .

Обчислимо оцінку важливості для групи аргументів x_1, x_2 за формулою (5). Знайдемо величини:

$$b_{00}^0 = 2 \quad b_{00}^1 = 0 \quad b_{01}^0 = 1 \quad b_{01}^1 = 1$$

$$b_{10}^0 = 0 \quad b_{10}^1 = 2 \quad b_{11}^0 = 1 \quad b_{11}^1 = 1$$

Підставимо знайдені значення у формулу (5):

$$W(x_1, x_2) = \frac{1}{8}(\max(b_{00}^0, b_{00}^1) + \max(b_{01}^0, b_{01}^1) + \max(b_{10}^0, b_{10}^1) + \max(b_{11}^0, b_{11}^1)) = \frac{1}{8}(2 + 1 + 2 + 1) = \frac{6}{8}.$$

Далі знайдемо оцінку важливості для групи аргументів x_2, x_3 :

$$b_{00}^0 = 1 \quad b_{00}^1 = 1 \quad b_{01}^0 = 1 \quad b_{01}^1 = 1$$

$$b_{10}^0 = 1 \quad b_{10}^1 = 1 \quad b_{11}^0 = 1 \quad b_{11}^1 = 1$$

$$W(x_2, x_3) = \frac{1}{8} (\max(b_{00}^0, b_{00}^1) + \max(b_{01}^0, b_{01}^1) + \max(b_{10}^0, b_{10}^1) + \max(b_{11}^0, b_{11}^1)) = \frac{1}{8} (1 + 1 + 1 + 1) = \frac{4}{8}.$$

Для групи аргументів x_1, x_3 :

$$b_{00}^0 = 1 \quad b_{00}^1 = 1 \quad b_{01}^0 = 2 \quad b_{01}^1 = 0$$

$$b_{10}^0 = 1 \quad b_{10}^1 = 1 \quad b_{11}^0 = 0 \quad b_{11}^1 = 2$$

$$W(x_1, x_3) = \frac{1}{8} (\max(b_{00}^0, b_{00}^1) + \max(b_{01}^0, b_{01}^1) + \max(b_{10}^0, b_{10}^1) + \max(b_{11}^0, b_{11}^1)) = \frac{1}{8} (1 + 2 + 1 + 2) = \frac{6}{8}.$$

Отже, $W(x_1, x_3)$ і $W(x_1, x_2)$ – найбільш важливі групи аргументів відносно функції $f(x_1, x_2, x_3)$.

Формули (4) і (5) можна також застосовувати для к-значної логіки, тоді функція $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ і її аргументи будуть визначені на множині $Z_k = \{0, 1, 2, \dots, k-1\}$, $k > 2$, причому $N = k^n$ ($n = 1, 2, \dots$), n – кількість аргументів функції к-значної логіки.

Для оцінки важливості окремих аргументів і груп аргументів у двозначній логіці автором написана програма на мові Pascal. Програма апробована для $n=9$ ($N=512$). Спочатку користувач вводить число змінних булевої функції. Далі вводиться з клавіатури функція $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, для якої на екран виводиться таблиця, зліва якої всі набори для аргументів булевої функції, справа – значення функції. Далі обчислюються b_j^m ($j, m = 0, 1$) і записуються у вигляді таблиці, після чого проводяться обчислення за формулою (4), і виводяться результати $W(x_i)$ ($i = \overline{1, n}$). Серед значень $W(x_i)$ вибирається максимальне, яке і буде найбільш важливим аргументом відносно функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Друга частина роботи програми полягає у знаходженні найбільш важливої комбінації аргументів відносно функції. На екран виводяться таблиці зіставлені з b_Δ^m . Знаходиться оцінка важливості для групи аргументів за формулою (5) для всіх можливих наборів. Серед оцінок вибирається максимальне значення, і виводиться результат найбільш важливої групи аргументів.

Наведемо попередній приклад, але обчислений на основі розробленої програми:

Введіть n, n=3

Введіть f(1)=0

Введіть f(2)=0

Введіть f(3)=1

Введіть f(4)=0

Введіть f(5)=1

Введіть f(6)=1

Введіть f(7)=0

Введіть f(8)=1

0 0 0 | 0

0 0 1 | 0

0 1 0 | 1

0 1 1 | 0

1 0 0 | 1

1 0 1 | 1
 1 1 0 | 0
 1 1 1 | 1

3 1

1 3

2 2

2 2

2 2

2 2

Для набору: [X1] W[1]=6/8

Для набору: [X2] W[2]=4/8

Для набору: [X3] W[3]=4/8

Найбільш важливий аргумент відносно функції f - (X1)

Друга частина----- Натисніть будь-яку клавішу...

1 1

1 1

1 1

1 1

1 1

2 0

1 1

0 2

2 0

1 1

0 2

1 1

Кількість аргументів=2

Для набору: [X2 X3] W[1]=4/8

Для набору: [X1 X3] W[2]=6/8

Для набору: [X1 X2] W[3]=6/8

Найбільш важливі групи аргументів відносно функції f - (X1 X3), (X1 X2)

Далі обчислимо оцінки значення найбільш важливого аргументу і групи аргументів для функції $N = 256$.

Значення функції f :

(1111111111111111001110111001111111101101010101011100111111110000011111
 1111111111111111101111101011111111101111111000111111111111110000011111
 111111101111111111101111111110000000000111111111111111101111111111101
 1111111111111111100011111111111110000001111111111)

Отримані результати показують, що класифікувати функцію по одному аргументу не вдається, так як всі аргументи отримали однакову оцінку, що наближено дорівнює 0,79. Далі знаходимо оцінки всіх можливих груп аргументів починаючи із 2 і до 7. Максимальна оцінка наближено дорівнює 0,94, і найбільш

важливі групи аргументів відносно функції $f_{\epsilon}(x_4, x_6, x_7), (x_4, x_6, x_7, x_8), (x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$. Тобто ці групи аргументів найбільш впливають на значення функції. Крім того, із додаванням до групи (x_4, x_6, x_7) аргументу x_8 , значення оцінки не змінюється. Це означає, що для оптимізації часу при розпізнаванні достатньо вибрати групу аргументів (x_4, x_6, x_7) , яка показала значення досить високу оцінку і складається із найменшої кількості аргументів.

Отримані значення розбиваємо на три класи з відповідними діапазонами [0, 99], [100, 199], [200, 299], та групами оцінок. Результати запишемо у таблицю 2:

Таблиця 2. Розбивка значень на три класи та групи оцінок

1 група		2 група		3 група	
96	[X3 X7] [X3 X5 X7] [X3 X4 X7] [X3 X4 X5] [X3 X4 X6 X7] [X2 X5 X6 X8] [X2 X3 X4 X5 X8]	194	[X1 X2 X3 X4 X7 X8]	240	[X4 X6 X7] [X4 X6 X7 X8] [X2 X3 X4 X5 X6 X7]
		192	[X5 X8] [X5 X7 X8] [X3 X5 X7 X8] [X1 X2 X3 X5 X6 X7]	238	[X2 X4 X6 X7 X8] [X2 X3 X4 X6 X7 X8] [X2 X3 X4 X5 X6 X8]
92	[X3 X6] [X2 X3 X6 X7 X8]	190	[X2 X5 X6 X7 X8] [X1 X2 X3 X4 X6 X8]	236	[X2 X3 X4 X5 X7 X8]
88	[X3 X4 X6] [X2 X5 X6 X7] [X2 X4 X7 X8]	186	[X3 X4 X6 X7 X8]	233	[X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7]
80	[X3 X4 X5 X8] [X3 X4 X5 X8]	184	[X5 X6 X8] [X3 X5 X6 X8] [X3 X5 X6 X7]	232	[X1 X4 X5 X6 X7 X8] [X1 X2 X3 X4 X5 X6]
76	[X3 X4 X5 X7]	182	[X1 X2 X3 X4 X6 X7] [X1 X2 X3 X4 X5 X8]	228	[X1 X2 X3 X4 X5 X6] [X6 X7]
66	[X1 X3 X5 X6 X7]	180	[X3 X4 X5 X6 X7]	224	[X4 X7 X8] [X4 X5 X7] [X4 X5 X7 X8]
60	[X1 X8] [X1 X7] [X2 X4 X8] [X2 X4 X5 X8] [X2 X4 X5 X7] [X2 X4 X5 X6] [X2 X3 X7 X8] [X2 X3 X6 X8]	178	[X3 X4 X5 X7 X8] [X3 X4 X5 X6 X8]	222	[X1 X2 X3 X4 X5 X6]
		158	[X1 X2 X3 X5 X6 X8]	220	[X4 X7]
56	[X2 X3] [X1 X6] [X1 X4] [X2 X7 X8] [X2 X4 X6 X7]	120	[X2 X7] [X3 X6 X8] [X3 X6 X7] [X2 X5 X7 X8] [X2 X3 X5 X6 X8] [X2 X3 X4 X7 X8] [X2 X3 X4 X6 X8]	217	[X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7]
54	[X1 X4 X5 X6 X8] [X1 X3 X5 X7 X8]			216	[X4 X6] [X4 X5] [X6 X7 X8] [X3 X6 X7 X8]
53	[X1 X3 X6 X7 X8]			214	[X3 X5 X6 X7 X8] [X1 X3 X4 X5 X7 X8] [X1 X3 X4 X5 X6 X8] [X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7]
52	[X1 X3] [X2 X4 X6 X8] [X1 X5 X6 X7 X8] [X1 X4 X5 X6 X7] [X1 X3 X5 X6 X8]	118	[X2 X3 X5 X7 X8]		
		116	[X2 X3 X5 X6 X7] [X2 X3 X4 X6 X7]	212	[X7 X8] [X5 X7] [X2 X3 X5 X6 X7 X8] [X1 X3 X5 X6 X7 X8] [X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7]
50	[X2 X3 X5 X8] [X2 X3 X5 X7]	112	[X2 X5] [X3 X4] [X3 X7 X8] [X3 X5 X8] [X3 X5 X6] [X3 X4 X6 X8] [X2 X3 X4 X5 X7]	211	[X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7]
48	[X1 X5] [X1 X2] [X2 X6 X8] [X2 X4 X7]			209	[X1 X2 X3 X4 X6 X7 X8]
47	[X1 X4 X5 X7 X8]	111	[X1 X2 X3 X5 X7 X8]	208	[X5 X6 X7] [X4 X6 X8] [X4 X5 X6] [X5 X6 X7 X8]
46	[X2 X3 X6 X7]	108	[X3 X8]	206	[X1 X3 X4 X6 X7 X8] [X1 X2 X3 X4 X5 X7 X8]
36	[X2 X6 X7] [X2 X4 X6] [X2 X4 X5]	107	[X1 X3 X4 X5 X6 X7] [X1 X2 X4 X5 X6 X7]	204	[X5 X6]
28	[X2 X5 X8]	106	[X2 X3 X4 X5 X6] [X1 X2 X4 X5 X7 X8] [X1 X2 X3 X6 X7 X8]	202	[X2 X4 X5 X7 X8] [X2 X4 X5 X6 X8] [X2 X4 X5 X6 X7] [X1 X2 X3 X4 X5 X7]
24	[X2 X5 X7] [X2 X5 X6]	105	[X1 X2 X4 X5 X6 X8]		
		104	[X3 X5] [X2 X8] [X2 X4] [X3 X4 X8]	200	[X6 X8] [X4 X8] [X4 X5 X8] [X3 X4 X7 X8]
		103	[X1 X2 X5 X6 X7 X8]		
		102	[X1 X2 X4 X6 X7 X8]		
		100	[X2 X6]		

Висновки

Отже при аналізі значень оцінок видно, що різні групи оцінок приймають однакові значення. Тоді ми можемо провести класифікацію і розбити групи оцінок на класи за приналежністю до значень оцінок. При такій класифікації на попередньому прикладі помітимо, що серед 153 груп оцінок, ми отримаємо 60 класів. Це дасть нам можливість при розпізнаванні значення функції f вибирати клас груп оцінок, який оптимально підходить і по групах оцінок, і по значеннях. Це суттєва для розпізнавання інформація, що є найважливішою умовою успішного розв'язку задачі розпізнавання.

Список літератури: 1. Бардачов Ю. М., Соколова Н. А., Ходаков В. Є. Дискретна математика. К.: Вища школа, 2002. – 287с. 2. Василенко Ю.А. Математическое конструирование многоуровневых распознающих систем на основе метода разветвленного выбора признаков: теория, алгоритмы, реализация, применение: Дис... д-ра техн. наук. Харьков, 1990. С. 242. 3. Vasilenko Yu. A., Vasilenko E. Yu., Kuhayivsky A., I., Papp I. O. Construction and optimization of recognizing systems// Научно-технический журнал “Информационные технологии и системы”. – 1999. – №1(T2). – С. 122-125. 4. Повхан І.Ф., Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю. Метод розгалуженого вибору ознак в математичному конструюванні багаторівневих систем розпізнавання образів// Научно-технический журнал “Искусственный Интеллект”. – 2003. – №7, – С. 246-249.

Поступила в редколлегию 15.11.2011

УДК 004.725.07

Л.И. НЕФЁДОВ, докт. техн. наук, проф., зав.каф., ХНАДУ, Харьков
М.В. ШЕВЧЕНКО, канд.техн.наук, доц., ХНАДУ, Харьков
Ю.А. ПЕТРЕНКО, канд.техн.наук, доц., ХНАДУ, Харьков
А.Б. БИНЬКОВСКАЯ, ассис, ХНАДУ, Харьков

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕЗИРУЕМОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Розглянутий метод визначення характеристик комп'ютерної мережі, що синтезується, в умовах нечіткої інформації, що дозволило підвищити ефективність ухвалення рішень.

Ключові слова: метод, синтез, ухвалення рішень, комп'ютерна мережа.

Рассмотрен метод определения характеристик синтезируемой компьютерной сети в условиях нечеткой информации, что позволило повысить эффективность принятия решений.

Ключевые слова: метод, синтез, принятия решений, компьютерная сеть.

The method of determination of descriptions of the synthesized computer network is considered in the conditions of unclear information, that allowed to promote efficiency of making decision.

Keywords: method, synthesis, making decision, computer network.

1. Постановка проблемы и анализ литературы

Обеспечение эффективного взаимодействия предприятий в рыночной экономике требует масштабного развития инфраструктуры компьютерных сетей предприятий и рационального управления потоками информации в сетях. Поэтому особое значение приобретают методы синтеза, развития и оптимизации компьютерных сетей организаций (КСО).

Эти системы – абоненты сети, коммутирующие устройства, серверы и т.д. - имеют сильную структурную и функциональную связность и трудно поддаются расчетам, особенно в части определения требуемых пропускных способностей. За последние несколько десятилетий накопился определенный опыт применения тех или иных методологических подходов и моделей для расчета и оптимизации пропускной способности КСО. Строгий анализ показывает, что зачастую эти методы на этапе синтеза использовались некорректно, зачастую расчет и прогнозирование максимально возможной пропускной способности КСО можно определить лишь на этапе эксплуатации из-за неопределенности исходной информации [1-3].

Существующие на данный момент методы расчетов базируются на использовании теории массового обслуживания, хотя в узлах КСО большую роль играет управление с помощью протоколов передачи данных, что такое свойство, практически, не отображает. Кроме того, в сетях могут возникать случайные процессы и существовать качественные отличия, которые не учитываются при расчетах [2-5].

В настоящий момент весьма актуальной задачей в области определения пропускной способности синтезируемой сети является задача моделирования рассуждений на основе прецедентов [6,7]. В дальнейшем будет рассматриваться трехуровневая компьютерная сеть звездообразной топологии.

2.Цель и постановка задачи

Таким образом, целью исследования является повышение эффективности функционирования компьютерной сети организации за счет разработки метода определения характеристик синтезируемой компьютерной сети с учетом нечеткой исходной информации на базе использования библиотеки прецедентов.

В общем случае постановку задачи можно сформулировать следующим образом.

Известно:

- множество абонентов синтезируемой сети, их местоположение, перечни задач, требующих решения, с описанием возможных топологий (взаимосвязей) между абонентами КСО, информационных и вычислительных параметров и характеристик;
- множество принятых решений по эксплуатируемым КСО (прецедентам): параметры абонентов, характеристики по пропускной способности, стоимости и вероятности безотказной работы (надежности) в интервальном виде содержащиеся в библиотеке прецедентов;
- множество программно-технических средств, их функциональные и стоимостные характеристики и параметры для спроектированных и уже эксплуатируемых КСО.

Для дальнейшего параметрического представления прецедентов определим прецедент Π как множество $\Pi = \{\Pi_j\}$, $j = \overline{1, j^*}$ - число всех возможных прецедентов, при этом $\Pi_j = \{h_j, c_j, p_j, n_j\}$, где $h_j \in H$ - множество параметров и характеристик абонентов j -го прецедента и синтезируемой КСО, при этом $h_j = \{h_{ji}\}$ - для прецедентов, $h_T = \{h_i^T\}$ - для синтезируемой сети.

c_j - интервальная оценка стоимости КСО на одного абонента, p_j связанная с ними интервальная оценка пропускной способности одного абонента (скорость передачи информации) КСО, n_j - интервальная оценка вероятности безотказной работы (как основная характеристика надежности КСО) для одного абонента КСО (усредненная характеристика).

Каждому параметру абонентов КСО назначают вес, учитывающий его относительную ценность ϕ_i .

Необходимо определить прецеденты из библиотеки возможных прецедентов (БП) для принятия решений по синтезу КСО в условиях нечеткой информации и выбрать характеристики эксплуатируемых КСО, близкие по параметрам абонентов к синтезируемой КСО.

3. Метод определения прецедентов

В общем случае пропускная способность (полоса пропускания, bandwidth) - количественное выражение способности канала передавать информацию или же количество переданной/полученной информации за единицу времени. Пропускная способность – один из важнейших с точки зрения пользователей факторов. Она оценивается количеством данных, которые компьютерная сеть может передать в единицу времени от одного подсоединенного устройства к другому.

При передаче сообщения, разбитого на пакеты, по сети возникают дополнительные временные задержки. Во-первых, это задержки в источнике передачи, который, помимо передачи собственно сообщения, тратит дополнительное время на передачу всех компонентов и кадров, кроме того, добавляются задержки, вызванные интервалами между передачей каждого следующего пакета (это время уходит на формирование очередного пакета стеком протоколов) [4,5].

Дополнительное время тратится в каждом коммутаторе. Здесь задержки складываются из времени буферизации пакета (коммутатор не может начать передачу пакета, не приняв его полностью в свой буфер) и времени коммутации. Время коммутации складывается из времени ожидания пакета в очереди и времени перемещения пакета в выходной порт. Если время перемещения пакета фиксировано и обычно невелико (от нескольких микросекунд до нескольких десятков микросекунд), то время ожидания пакета в очереди колеблется в очень широких пределах и заранее неизвестно, так как зависит от текущей загрузки сети пакетами.

Подобные рассуждения можно привести и для характеристик стоимости и надежности КСО.

В такой ситуации возникает возможность принятия решения при синтезе КСО с использованием знаний о предыдущих ситуациях или случаях (прецедентах). Данная теория получила название CBR (Case-Based Reasoning), или метод рассуждений на основе прецедентов [6,7]. Как правило, подобные методы рассуждений включают в себя четыре основных этапа, образующие так называемый цикл рассуждения на основе прецедентов или CBR-цикл (рис.1):

- Retrieve – извлечение наиболее подобного прецедента (или прецедентов) для сложившейся ситуации из библиотеки прецедентов (БП);

- Reuse – повторное использование извлеченного прецедента (прецедентов) с целью предложения решения для текущей проблемы;

- Revise – пересмотр

полученного решения и адаптация его, в случае необходимости, в соответствии с текущей проблемой;

- Retainment – сохранение вновь принятого решения как части нового прецедента.

Обычно CBR-цикл выполняется при непосредственном взаимодействии с лицом, принимающим решения (ЛПР). Многие прецедентные системы только извлекают из хранилища наиболее уместные прецеденты и оставляют процесс адаптации на усмотрение ЛПР, поскольку автоматизация процесса адаптации является сложной задачей и практически не поддается обобщению, а, зачастую, в адаптации нет необходимости, поскольку выбранные прецеденты содержат достаточно информации для принятия решения.

Для успешной реализации рассуждений на основе прецедентов необходимо обеспечить корректное извлечение прецедентов из БП. Выбор метода извлечения прецедентов напрямую связан со способом представления прецедентов и соответственно со способом организации БП.

Основные способы представления прецедентов можно разделить на следующие группы [7]:

- параметрические;
- объектно-ориентированные;
- специальные (в виде деревьев, графов, логических формул и т.д.).

В большинстве случаев для представления прецедентов достаточно простого параметрического представления, т.е. представления прецедента в виде набора параметров с конкретными значениями и решениями в виде: пропускной способности, вероятности безотказной работы, стоимости на одного абонента [6].

В дальнейшем будем полагать, что любой параметр или переменная модели многофакторного скалярного оценивания заданы в интервальном виде [4,8]. Это означает, что исходные данные представляются интервальными числами, например, параметры абонентов синтезируемой КСО $[\underline{h}_i^T, \bar{h}_i^T]$, задаваемые левыми $\underline{h}_i^T$ и правыми границами $\bar{h}_i^T$ на числовой оси. Размер (радиус) интервала характеризует степень неопределенности величины. В частном случае, при $\underline{h}_i^T = \bar{h}_i^T$ величина задается точечным детерминированным значением.

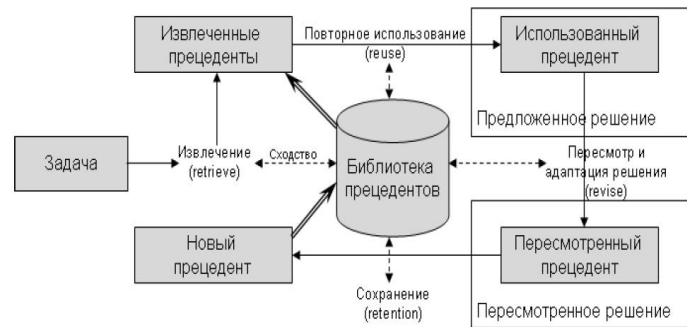


Рис. 1. Цикл рассуждений на основе прецедентов

Интервальная арифметика - это один из возможных методов для извлечения прецедентов, а его эффективность во многом зависит от выбора метрики (меры сходства) [8,9].

При введении на множестве интервальных характеристик и параметров метрики получим - частный случай хаусдорфовой метрики. Вводя на множестве интервалов метрику, мы делаем его топологическим пространством. При этом понятия сходимости и непрерывности могут быть использованы обычным образом [8,9].

Введем специальную величину Q^* – пороговое значение степени сходства параметров абонентов прецедентов (h_j) и текущей ситуации (h^T). Таким образом, в результате сравнения выбирается не один единственный прецедент, а некоторое множество прецедентов W , степень сходства которых больше или равна пороговому значению ($\Delta(h_j, h^T) \geq Q^*$)

Введем значение коэффициента весомости i -го параметра абонентов КСО ϕ_i , которое будет изменяться в интервале от 0 до 1 (0 до 100%). Для учета коэффициентов важности параметров при извлечении прецедентов из БП и вычислении степени сходства необходимо скорректировать значения параметров умножив их на соответствующий коэффициент (ϕ_i), а также учесть коэффициенты важности при вычислении максимального расстояния $d_{\max}$ – суммарный максимальный разброс параметров по текущей ситуации и прецедентам.

Рассмотрим метод выбора прецедентов из БП с использованием хаусдорфовой метрики.

Входными параметрами являются:

- множество значений параметров абонентов $h^T = \{h_i^T\}$, $i = \overline{1, i^*}$ синтезируемой КСО, описывающих текущую ситуацию;
- непустое множество $\Pi = \{\Pi_j(h_j, c_j, p_j, n_j)\}$, $j = \overline{1, j^*}$ спроектированных и эксплуатируемых КСО с описанием параметров их абонентов и характеристик КСО в виде интервальных оценок в библиотеке прецедентов;
- количество уже синтезированных КСО в БП $-j^*$;
- веса (коэффициенты важности) параметров абонентов КСО - $\phi_1, \dots, \phi_n$;
- пороговое значение степени сходства $-Q^*$.

Необходимо найти: множество прецедентов абонентов эксплуатируемых КСО с их параметрами и характеристиками $W = \{W_{j^*}(h_{j^*}, c_{j^*}, p_{j^*}, n_{j^*})\}$, $j^* = \overline{1, j^{**}}$, которые имеют степень сходства (близости) с абонентами синтезируемой КСО, большую или равную пороговому значению Q^* ; поставить в соответствие характеристикам синтезируемой КСО характеристики выбранных прецедентов эксплуатируемых КСО из БП с выбором их наилучших значений для синтеза КСО.

На первом этапе задается $d_{\max}$ по отношению к текущей ситуации. Для сравнения интервалов при оценке параметров на втором этапе необходимо проверить пересекаются ли области интервалов каждого параметра абонентов и

прецедентов. В случае, если интервалы не имеют пересечения, расстояние между интервалами определяется согласно хаусдорфовой метрике [8,9]:

$$d_{h_i^T h_{ji}} = \max \left\{ \left| \underline{h}_{ji} - \underline{h}_i^T \right|, \left| \bar{h}_{ji} - \bar{h}_i^T \right| \right\} \quad (1)$$

В противном случае $d_{h_i^T h_{ji}} = 0$, т.е. n прецедент и текущая ситуация совпадают.

На следующем этапе определяется соответствие прецедента поставленному условию по степени сходства. Если его степень сходства не соответствует представленному условию, то он не входит в множество W .

Если после перебора всех прецедентов не один из них не вошел в W то необходимо уменьшить значение Q^* и все расчеты повторить сначала.

На рис. 2 представлена структура метода выбора прецедентов КСО.

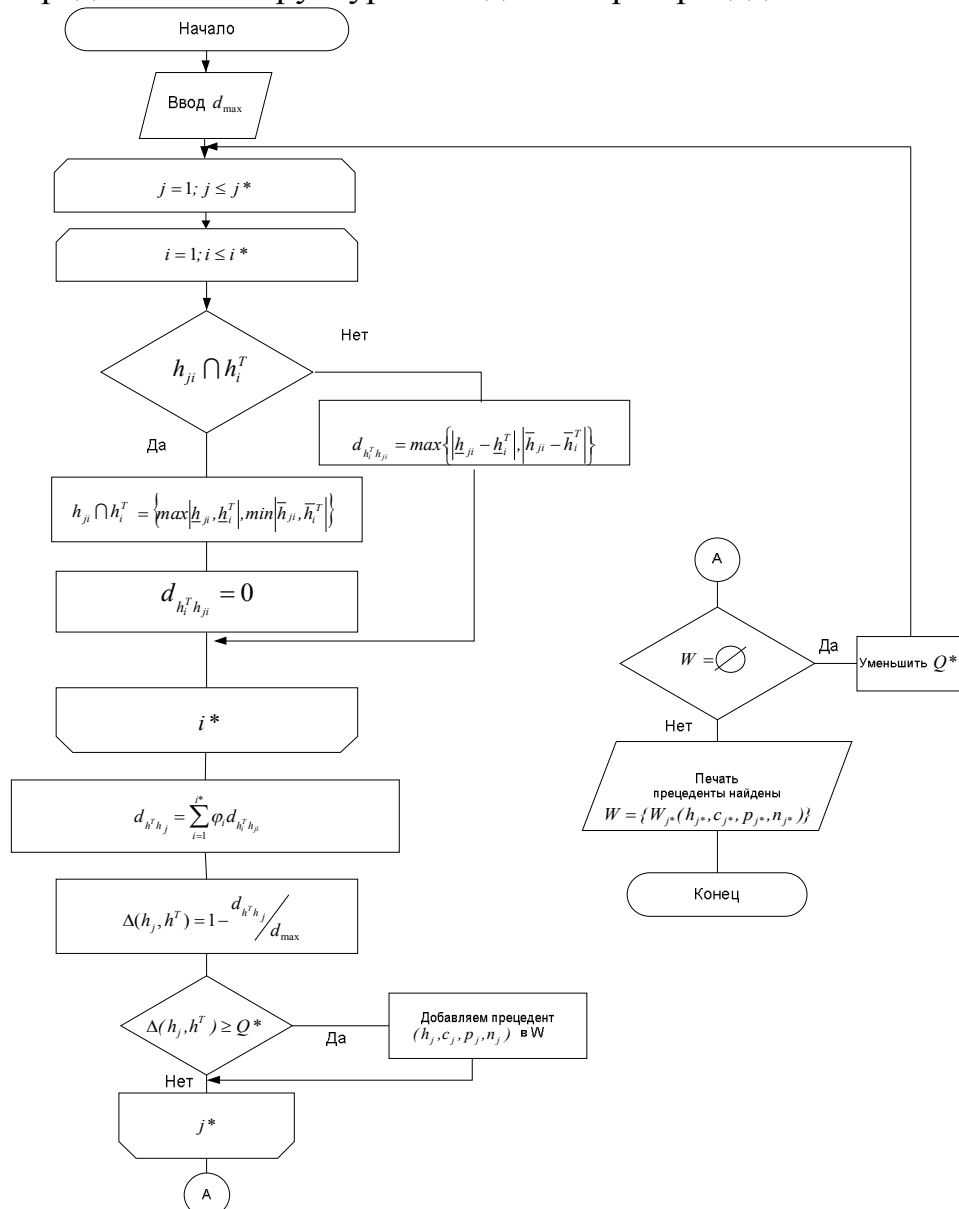


Рис. 2. Структура метода выбора прецедентов КСО

5. Выводы

Таким образом, усовершенствован метод определения характеристик синтезируемой компьютерной сети в условиях нечеткой информации за счет применения метода прецедентов.

Список литературы: 1. *Петров Э.Г.* Территориально распределенные системы обслуживания [Текст] / Э.Г. Петров, В.П. Пискалова, В.В. Бескоровайный - К.: «Техніка», 1992 - 208 с. 2. *Петров Э.Г.* Методология структурного системного анализа и проектирования крупномасштабных ИУС [Текст] / Э.Г. Петров, С.И. Чайников, А.О. Овезгельдыев - Харьков: «Рубикон», 1997. - 140 с. 3. *Пранявичюс Г.* Модели и методы исследования вычислительных систем [Текст] / Г. Пранявичюс – Вильнюс: «МОКСЛАС», 1982. – 315 с. 4. *Баддур Алаа* Методи і математичні моделі проектування територіально-розподілених систем обслуговування [Текст]: автореф. дис. кандидата технічних наук / Баддур Алаа; [ХНУРЕ]. – Х., 2011. – 18 с. 5. *Ульянова О.С.* Моделі та методи багатокритеріального синтезу фізичних структур при автоматизованому проектуванні розподілених баз даних [Текст]: автореф. дис. кандидата технічних наук / О.С. Ульянова; [ХНУРЕ]. – 2011. – 22 с. 6. *Бредихин К.Н.* Распределенный вывод на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений [Текст] / К.Н. Бредихин, П. Р. Варшавский // Теория и практика системного анализа: Труды I Всероссийской научной конференции молодых ученых. – Рыбинск: РГАТА имени П. А. Соловьева, 2010. – С. 57-62. 7. *Варшавский П.Р.* Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений [Текст] / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятие решений - №2, 2009. – С. 45-57. 8. *Шокин Ю.И.* Интервальный анализ [Текст] / Ю.И. Шокин - Новосибирск: Наука, 1981. – 112 с. 9. *Добронец Б.С.* Интервальная математика : Учебное пособие [Текст] / Б.С. Добронец - Красноярск, 2004. – 216 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 621.001.57:65.012.4

И.А. ЛУЦЕНКО, докт. техн. наук, доц., Криворожский технический университет

Н.И. НИКОЛАЕНКО, ассис, Криворожский технический университет

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ПОДСИСТЕМ И МОДУЛЕЙ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С ДОЗИРОВАННОЙ ПОДАЧЕЙ СЫРЬЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Запропонований стандарт інтерфейсів системи перетворення з порційною подачею сировинних продуктів. Класифіковані об'єкти, що входять до складу цієї системи і розроблена її структурна схема в прив'язці до інтерфейсної її частини.

Ключові слова: технологічна підсистема, підсистема управління, стандартизація інтерфейсу

Предложен стандарт интерфейсов системы преобразования с порционной подачей сырьевых продуктов. Классифицированы объекты, входящие в состав этой системы и разработана ее структурная схема в привязке к интерфейсной ее части.

Ключевые слова: технологическая подсистема, подсистема управления, стандартизация интерфейса

The standard of interfaces of system of transformation is offered with the dosed out giving of raw products. The objects which are a part of this system are classified and its block diagram is developed in a binding to its interface part.

Keywords: a technological subsystem, a management subsystem, interface standardization

1. Введение

На настоящий момент в кибернетике, теории управлении, теории оптимального управления, отсутствует классификация объектов входящих в

состав открытых и закрытых систем [1]. Это обуславливает отсутствие системно-обоснованных стандартов построения технологических подсистем и подсистем управления.

Целью работы является разработка системно-обоснованных стандартов архитектуры технологической подсистемы преобразования и связанной с ней подсистемы управления периодическими технологическими процессами преобразования продуктов, а также разработка классификации объектов входящих в состав управляемой системы.

Выбор периодических технологических процессов, в качестве объекта исследования, обусловлен простотой определения контуров технологической операции.

2. Развитие общего понятия «система»

Существенный прогресс в той или иной исследуемой области, уже получившей свое первоначальное развитие, неизбежно связан с задачами идентификации и классификации. Эти два процесса взаимосвязаны. Решение вопроса идентификации начинается с объектов самого низкого иерархического уровня и обеспечивает возможность их классификации. С другой стороны, ниспадающая классификация объектов, начинающаяся с высшего уровня, открывает возможности для системно – обоснованного объединения объектов более низкого иерархического уровня в объект более высокого иерархического уровня.

Практически оценить полученный результат можно, используя объектно-ориентированный подход к реализации классов, подклассов, видов, подвидов и т.д. в виде реально созданных объектов управляемых систем.

Естественное объединение объектов одного вида в более крупный объект проявляется в архитектурной независимости интерфейсной части укрупненных структурных единиц, от специфики задачи, которая решается каждой структурой.

Все вышесказанное в полной мере справедливо для решения задач связанных с управляемыми системами. И самым крупным объектом управляемой системы, естественно, является система.

«Система» - это специальным образом организованная структура, которая предназначена для выполнения своей технологической задачи (технологической функции). Технологическая функция не может состоять из нескольких технологических функций. Тогда это будет несколько систем.

Если проводить аналогию с любым объектом самого низкого иерархического уровня, каждая система выполняет простую технологическую функцию также как и любой простейший механизм – простую специальную функцию.

Простыми технологическими функциями систем являются, например: дробление, нагрев, сепарация. Простыми специальными функциями механизмов являются, например: сравнение, интегрирование, масштабирование.

Для выделения конкретного объекта среди множества объектов того же вида используют поясняющий термин «исследуемый». По отношению к классу систем, понятие «исследуемая система» означает систему, процессы или устройство которой рассматриваются с позиции выявления особенностей, связанных с выполнением этой системой ее задачи.

Для выполнения этой задачи системе необходимы определенные продукты. Ввиду необходимости получения этих продуктов система вступает во взаимодействие с другими системами. Эти системы по отношению к исследуемой системе являются системами подачи входных технологических продуктов или **системами подачи**.

Результатом выполнения системой своей задачи, является ее возможность передать свой выходной технологический продукт, нуждающимся в нем, другим системам. По отношению к исследуемой системе, нуждающиеся в ее готовом технологическом продукте, и связанные с ней системы, являются **системами потребления**.

По принципам взаимодействия системы делятся на два класса: класс открытых систем и класс закрытых систем.

По функциональному признаку можно выделить системы преобразования, разделительные системы [2], системы обеспечения перемещения продуктов (СОПП) и поисковые системы.

Системы строятся по объектно-ориентированному принципу.

Это означает, что интерфейсом системы является порт, а также что помимо своей специальной функции, система выполняет функции свойственные структуре организованной по объектно-ориентированному принципу.

К числу таких функций относятся: прием входных продуктов из входного порта и их загрузка в механизм выполнения специальной функции; выгрузка выходного продукта из механизма выполнения специальной функции и загрузка его в выходной порт.

Со стороны исследуемой системы и по отношению к системам подачи технологических продуктов, можно выделить порт приема и обеспечения получения технологического продукта (ПП-ОП).

По отношению к системам потребления технологических продуктов исследуемой системы, можно выделить порт выдачи и обеспечения сбыта технологического продукта (ПВ-ОС). Перемещение входных и выходных технологических продуктов обеспечивают СОПП.

Для обеспечения своего функционирования системы вступают во взаимодействие с другими системами, образуя управляемые системы (рис.1).

В моделях управляемых систем СОПП не отображают, если только сама СОПП не является исследуемой системой. Вместо СОПП отображаются каналы перемещения

продуктов линиями со стрелками. (рис.2). Класс продуктов, циркулирующих между системами, делится на три вида:



Рис.1. Интерфейсная модель управляемой системы

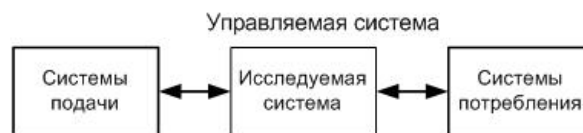


Рис.2. Модель управляемой системы

технологические продукты, продукты обмена и информационные продукты управления (сигналы).

3. Открытые системы

Отличительной особенностью открытых систем является наличие обменных процессов и, естественно, операций с обменными продуктами. Также особенностью открытых систем являются «слабые связи» с открытыми системами подачи и потребления технологических продуктов. Поэтому открытые системы требуют взаимодействия с поисковыми системами. Интерфейсная модель открытой управляемой системы имеет следующий вид (рис.3). Открытая система может не иметь связей с закрытыми системами, если нет необходимости рассматривать их как отдельные объекты. Примером могут служить торговые системы, модели которых представляют, в общем случае, как открытые разделительные системы.



Рис. 3 Интерфейсная модель открытой управляемой системы: Порт 1 – порт, связанный с системами подачи входных ТП. Порт 2 – порт, связанный с системами потребления выходных ТП. Порт 3 – порт, связанный с обеспечением функционирования закрытых систем

4. Закрытые системы

В отличие от открытых систем, между закрытыми системами нет свободного взаимообмена или он вообще отсутствует. Соответственно, системы, с которыми закрытая система должна взаимодействовать, предопределены.

Закрытая система взаимодействует только с закрытыми системами или с открытой системой – владельцем посредством обмена продуктами через СОМПП.

Закрытая система состоит из технологической подсистемы и подсистемы управления.

5. Терминологическая база

В технологическом процессе любой сложности всегда можно выделить базовые технологические операции. Определим механизм, который обеспечивают выполнение базовой технологической операции, как технологический механизм (ТМ). Выполнение базовой технологической операции является специальной функцией технологического механизма.

На вход любого технологического механизма подается два вида продуктов. Один вид продукта – продукт подвергающийся преобразованию. Второй вид продукта – продукт обеспечивающий процесс преобразования.

Определим продукт первого вида, как сырьевой продукт, а продукт второго вида, как энергетический продукт.

Выходной продукт технологического механизма определим как готовый продукт.

В свою очередь, сырьевые, энергетические и готовые продукты определим как технологические продукты.

Управляемые системы, созданные естественным путем, построены по технологии, который определяют как объектно-ориентированный подход.

Переход в проектировании и построении управляемых систем на объектно-ориентированную платформу позволяет выйти на качественно новый уровень решения практических задач управления.

Все результаты и выводы данной работы были получены с опорой на объектно-ориентированную модель управления.

При объектно-ориентированном подходе структура, кроме выполнения своей специальной функции, также выполняет стандартные операции **приема – загрузки** входных продуктов и **выемки – выдачи** выходного продукта из определенных устройств, которые определяются как секции порта.

Структуры, выполняющие вышеуказанные портовые операции, определим как сервисные механизмы. Примем, что, построенные с использованием объектно-ориентированных принципов, механизмы, выполняющие специальную функцию, подсистемы и системы, всегда имеют в своем составе встроенные сервисные механизмы.

Далее рассматривается однопродуктовая система преобразования (система с одним сырьевым продуктом).

Структуру, обеспечивающую подачу технологического продукта на вход сервисного механизма системы преобразования, определим как систему подачи сырьевого продукта (СПСП).

Структуру, обеспечивающую подачу энергетического продукта на вход сервисного механизма системы преобразования, определим как систему подачи энергетического продукта (СПЭП).

Структуру, обеспечивающую прием готового продукта переданного системой преобразования, определим как систему потребления готового продукта (СПГП).

Функционирование управляемой системы обеспечивается необходимой последовательностью операций осуществляемых механизмами системы преобразования и системами подачи и потребления. Эту функцию обеспечивает механизм, который определим как механизм координации (МК).

Также как и в ситуации с технологическим механизмом, все механизмы системы преобразования выполняют одну специальную функцию и стандартные сервисные функции.

Так, механизм координации выполняет специальную функцию координации и сервисные функции приема и выдачи сообщений, обрабатывая соответствующие порты.

На рис. 4 приведено внутреннее устройство системы преобразования с дозированной подачей сырьевого продукта. Каждый простейший механизм, технологический механизм или механизм обеспечения технологической задачи, выполняет простую специальную функцию. Расположение таймера в технологической подсистеме обусловлено возможностью более компактного отображения внутреннего содержимого системы.

6. Технологический процесс

Рассмотрим концепцию преобразовательной части технологической подсистемы (ТПС).

Через секцию S1 порта 2 на вход ТМ порционно поступает сырьевой продукт. Понятие «порционно» здесь означает, что требуемый объем сырьевого продукта (порция) поступает на вход с определенной интенсивностью. То есть, процесс передачи сырьевого продукта технологической подсистеме занимает вполне определенное время, длительность которого определяется системой оптимизации, если для этого предусмотрены технические возможности и необходимость оптимизации этого процесса не вызывает сомнений. В противном случае процесс оптимизации состоит в субъективном выборе режима интенсивности подачи на этапе наладки подсистемы.

После загрузки сырьевого продукта, через секцию S2 порта 3 на второй вход ТМ подается энергетический продукт, обеспечивающий реализацию технологического процесса.

Как только характеристики продукта преобразования достигают эталонного значения, процесс подачи энергетического продукта прекращается и обеспечивается передача готового продукта системе потребления через секцию S4 порта 4.

Подобные технологические процессы (ТП) в специальной литературе определены как периодические. Однако такой термин не совсем удачен для этих процессов, поскольку в общем случае период ТП изменяется. Например, в процессе оптимизации, которая может занимать довольно продолжительное время, до 50% от общего времени работы системы. Поэтому в своих работах автор определяет такие ТП, как процессы с порционной подачей сырьевых продуктов.

Подсистема управления состоит из трех модулей. Модуля решения задачи управления, модуля обеспечения достижения цели управления и модуля обеспечения взаимодействия.

7. Модуль решения задачи управления

Задачей управления любой управляемой системой является обеспечение выполнения входящими в нее системами их ролевых функций: обеспечения подачи входных технологических продуктов (ролевая функция СПСП и СПЭП), обеспечение приема входных технологических продуктов, преобразования

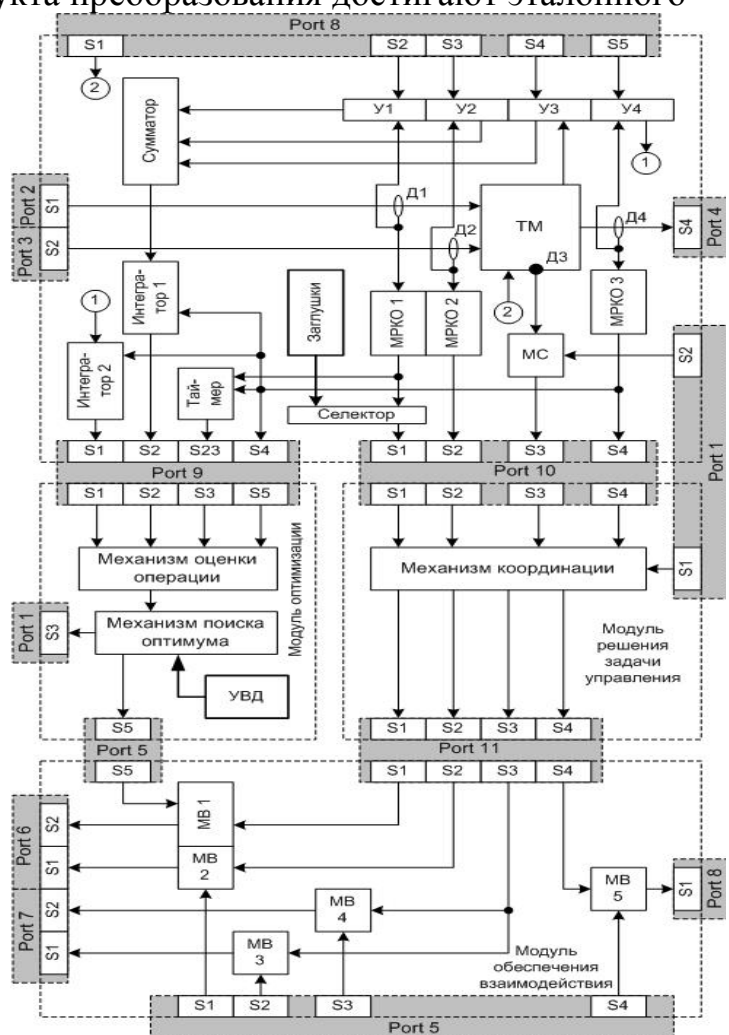


Рис. 4. Структура системы преобразования с отображением интерфейсной части ее объектов

сырьевых продуктов и обеспечение сбыта своего готового технологического продукта (ролевая функция исследуемой системы), потребление готового продукта (ролевая функция СПГП).

Процесс решения задачи управления начинается в момент получения механизмом координации, через секцию S1 порта 1, сигнала задания, от системы потребления, на выполнение системой преобразования своей специальной функции.

Сказанное означает, что сигнал задания не несет информацию о том, когда и какой объем технологического продукта должен быть получен системой потребления. Поскольку для системы преобразования системой потребления выступает разделительная система [2], выбор параметров операции определяется системой преобразования в процессе оптимизации.

Получив сигнал задания, механизм координации обеспечивает процесс подачи сырьевого продукта, формируя сигнал инициализации процесса который через секцию S3 порта 11 подается на вход механизмов обеспечения взаимодействия (МВ) МВ 3 и МВ 4. На вторые входы этих механизмов, через секции S2 и S3 порта 5, подаются сигналы, которые несут информацию о том, какой объем сырьевого продукта и с какой интенсивностью система подачи должна передать исследуемой системе. В момент получения сигнала от механизма координации эта информация передается системе подачи сырьевого продукта через секции S1 и S2 порта 7.

Процесс поступления сырьевого продукта на вход ТМ регистрируется датчиком Д1. С выхода датчика информация о количественном параметре продукта передается на вход механизма регистрации контуров операции (МРКО). В задачу этого механизма входит определение начала процесса перемещения продукта по каналу и момента завершения процесса перемещения.

Сигнал, с выхода датчика, сформированный МРКО по переднему фронту запускает таймер. Сигнал, с выхода датчика, сформированный по заднему фронту, через селектор и секцию S1 порта 10 поступает на вход механизма координации.

Вынесение механизма МРКО 1 в технологическую подсистему обеспечивает архитектурную развязку подсистемы управления от особенностей внутренней архитектуры технологической подсистемы. Если бы, например, в ТМ загружалось несколько сырьевых продуктов, селектор выдал бы сигнал завершения операции загрузки последнего сырьевого продукта.

Получив через секцию S1 порта 10 сигнал о прекращении операции загрузки сырьевого продукта, МК через секцию S1 порта 11 подает сигнал о необходимости начала подачи на вход ТМ энергетического продукта на вход МВ 1. С какой интенсивностью необходимо подавать энергетический продукт на вход ТМ, определяет информационный сигнал выработанный модулем оптимизации. Через секцию S5 порта 5 этот сигнал поступает на второй вход МВ 1.

Получив через секцию S2 порта 6 сигнал интенсивности подачи энергетического продукта, СПЭП подает его на вход ТМ через секцию S2 порта 3.

Ход процесса преобразования контролируется датчиком ДЗ. С выхода датчика сигнал поступает на вход механизма сравнения (МС), на второй вход которого поступает сигнал эталонного значения.

Как только сигнал выхода ДЗ достигает уровня эталонного сигнала, МС через секцию S3 порта 10 передает сигнал готовности продукта МК.

Таким образом, канал между ТМ и МС подсистемы преобразования, с высокой плотностью непрерывно изменяющихся данных, отделен механизмом сравнения от подсистемы управления.

Получив сигнал готовности от МС, МК формирует сигнал прекращения подачи энергетического продукта и через секцию S2 порта 11, МВ 2 и секцию S1 порта 6 обеспечивает передачу необходимой информации СПЭП.

Получив подтверждение о прекращении подачи энергии через датчик Д2 и МРКО 2, МК формирует сигнал о необходимости выдачи готового продукта, который поступает на вход МВ 5. В момент получения этого сигнала МВ 5 передает информацию об интенсивности выдачи готового продукта, полученную через секцию S4 порта 5, на вход ТМ через секцию S1 порта 8.

МРКО 3 регистрирует момент окончания выдачи готового продукта. Сигнал регистрации окончания операции передается на второй вход таймера и через секцию S4 порта 10 на требуемый вход МК.

Таким образом, между подсистемой управления подсистема управления со стороны модуля решения задачи управления и ТПС обеспечивается взаимодействие посредством получения сигналов, которые несут информацию характерную для абсолютно любого технологического процесса. Это момент завершения загрузки сырьевых продуктов; момент завершения подачи энергетического продукта; момент, когда значение потребительского параметра продукта преобразования достигло эталонного значения; момент завершения передачи готового продукта.

Следовательно, архитектура модуля решения задачи управления не привязана к особенностям внутренней структуры ТПС.

8. Модуль оптимизации

Интерфейсную развязку ТПС и модуля оптимизации ПСУ обеспечиваю умножители 1-4, интеграторы 1-2, сумматор, а также наличие связи ТПС с открытой системой через секции S2-S5 порта 8. Через эти секции поступает информация о стоимостных оценках технологических продуктов и стоимостной оценке износа оборудования [3].

С выходов датчиков Д1 и Д2 информация о количественных параметрах входных продуктов поступает на входы умножителей У1 и У2. На вход умножителя У3 подается информация об износе ТМ. На вторые входы сумматоров подается информация о стоимостных оценках сырьевых продуктов и стоимости единицы износа ТМ. Количество объектов ТПС, износ которых необходимо учитывать, может быть разным. Разным может быть количество сырьевых и энергетических продуктов. Именно поэтому операция суммирования стоимостных оценок входных продуктов технологической операции, должна осуществляться в рамках ТПС. А износ, на концептуальном уровне, это продукт такого же класса, как и сырьевой продукт.

С выхода сумматора данные непрерывно поступают на вход интегратора 1. Именно факт непрерывного потока данных поступающих на вход интегратора, является признаком его принадлежности к тому же объекту что и источник этих данных.

Сигнал с выхода МРКО 3 обеспечивает передачу данных с выхода интегратора 1 в выходной порт 9 и сброс данных интегратора.

Аналогичным образом происходит обработка данных датчика Д4. Конечные результаты этой обработки интегратор 2 передает в порт 9 по сигналу таймера и осуществляет сброс накопленных данных.

Таким образом, в порт 9 в момент завершения технологической операции попадает информация необходимая для ее оценки. Механизм оценки обеспечивает идентификацию технологической операции [4].

Поиск оптимума (в общем случае экстремума) целевой функции осуществляется с использованием любого известного метода [5].

Сведения о завершении поиска экстремума механизм поиска оптимума передает через секцию S3 порта 1 в СПГП.

Количество модулей оптимизации может меняться в зависимости от потребностей в оптимизации того или иного управления, а также наличия для этого технических возможностей в рамках наложенных на это управление ограничений.

Выводы

Классифицированы механизмы технологической подсистемы.

Установлено, что в состав технологической подсистемы входят объекты, относящиеся к классу механизмов преобразования, датчиков, механизмов регистрации контуров операции, механизмов сравнения, сумматоров, интеграторов и умножителей.

Классифицированы механизмы подсистемы управления.

Установлен состав механизмов подсистемы управления и идентифицированы модули решения задачи управления, обеспечения достижения цели управления и модуль обеспечения взаимодействия объектов.

Определены типы систем по их ролевой функции, по отношению к исследуемой системе, как системы подачи сырьевых продуктов, системы подачи энергетических продуктов и системы потребления готовых продуктов.

Предложен системно-обоснованный подход отнесения механизмов к соответствующим подсистемам системы преобразования.

Установлено, что в состав механизмов преобразования, реализованных по объектно-ориентированному принципу, кроме структуры элементов обеспечивающих реализацию специальной функции механизма, входят структуры элементов обеспечивающих его такие сервисные функции как функцию приема-загрузки входного физического или информационного продукта, так и функцию выгрузки-передачи выходного продукта.

Разработана системно-обоснованная архитектура технологической подсистемы реализации периодических технологических процессов и структура связанной с ней подсистемы управления. Именно такое разделение механизмов

обеспечивает архитектурную независимость интерфейсных частей подсистемы управления от особенностей интерфейсной части технологической подсистемы.

Полученные выводы проверены практикой создания управляемых систем периодического преобразования технологических продуктов.

Список литературы: 1. *Гаврилов, Д.А.* Управление производством на базе стандарта MRP II [Текст] / Д. А. Гаврилов. – Санкт-Петербург: Питер, 2002. 340 с. 2. *Луценко И.А.* Разработка критерия эффективности использования ресурсов для оценивания процессов разделительных систем [Текст] / И.А. Луценко, Ю.И. Гнатюк, А.Ю. Михайленко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. №5/3(41). – С. 4-10. 3. *Луценко И.А.* Качественно-количественная модель объекта управления типа CR для разработки систем управления [Текст] / И.А. Луценко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. №4/3(52). – С. 43-47. 4. *Луценко И.А.* Эффективность как единый критерий управления технологическими процессами [Текст] / И.А. Луценко // Вісник Криворізького технічного університету. – 2006. вип. 11 – С. 133-137. 5. Спосіб керування технологічним процесом [Текст] : пат. 44669 Україна: МПК7 G 05 D 99/00, G 05 .11 13/ 00 / Луценко І. А., Аніськов О. В, Титюк В.К., Гнатюк Ю.І., Михайленко О.Ю. ; заявник та власник патенту Кривий Ріг, технічний університет.— №u200904455/09 ; заявл. 05.05.09 ; опубл. 12.10.09, Бюл. № 19. — 2 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 65.001.1:519(075.8)

Л.И. НЕФЁДОВ, докт. техн. наук, проф., зав.каф., ХНАДУ, Харьков
Е.П. БАБЕНКО, канд.техн.наук, доц., ХНАДУ, Харьков
Ю.В. ПЕРЕПЕЛИЦА, асп., ХНАДУ, Харьков

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ В ПРОЕКТАХ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ РИСКА

В статті пропонується методика оцінки витрат на снігоочистку доріг при різних рівнях вірогідності неблагоприємних погодних явищ.

Ключові слова: зимове утримання доріг, фактори ризику, методика оцінювання витрат, імітаційне моделювання.

В статье предлагается методика оценки затрат на снегоочистку дорог при разных уровнях вероятности неблагоприятных погодных явлений.

Ключевые слова: зимнее содержание дорог, факторы риска, методика оценки затрат, имитационное моделирование.

In the article the method of estimation of expenses is offered on roads cleaning from snow at the different levels of probability of the unfavorable weather phenomena.

Keywords: winter maintenance of roads, risk factors, method of expenses estimation, imitation model.

1. Постановка проблемы и анализ последних исследований и публикаций

Вопросы эксплуатации дорог в условиях неопределенности и рисков исследовались рядом авторов [1- 3], однако проблема управления рисками при

содержании дорог в сложных погодных условиях остается актуальной с научной и практической точек зрения.

Степень устойчивости проекта зимнего содержания по отношению к возможным изменениям условий его реализации можно характеризовать такими предельными параметрами производства работ, при которых выручка от выполнения работ совпадает с издержками производства (точка безубыточности) или даже превышает их. Последний случай связан с понятием риска для хозяйствующего субъекта при выполнении контракта на содержание дорог. Если средства, необходимые для выполнения комплекса работ по зимнему содержанию не будут выделены в полном объеме, потребительские качества дорог могут выйти за предельно допустимые значения. Возможные потери в транспортной сфере из-за снижения средней скорости движения на дорогах, увеличения времени доставки грузов, увеличения числа дорожно-транспортных происшествий рассматриваются как плата за риск невыполнения работ по содержанию дорог в соответствии с нормативными требованиями.

2. Цель и постановка задачи

Целью исследования является повышение оперативности и точности определения затрат в проектах зимнего содержания автомобильных дорог с учетом факторов рисков.

К основным работам зимнего содержания автомобильных дорог относятся: расчистка проезжей части от выпадающего снега и предотвращение образования уплотненной корки; удаление с покрытий снежно-ледяных накатов и уплотненного снега; удаление снежных валов, образовавшихся в результате расчистки проезжей части; борьба со скользкостью на проезжей части при гололеде [4].

В общем случае базовую постановку задачи по определению затрат можно сформулировать следующим образом.

Известно:

- параметры случайных величин, характеризующих i -й погодный фактор (закон распределения, математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение);
- границы изменения погодного фактора на данной территории, полученные на основе статистической обработки среднемесячных данных;
- характеристики дорог, определяющие нормативные требования к уровню содержания (вид покрытия, техническая и эксплуатационная категории и т.д.), параметры элементов дорог и их количество;
- организационно-экономические условия производства работ подрядчиком на обслуживаемой сети дорог (расположение производственных баз, расстояния транспортирования, цены ресурсов и т.д.).

Необходимо:

- определить объемы разных видов работ по ликвидации последствий появления i -го погодного фактора;
- построить номограммы в совмещенных осях - затраты на снегоочистку дорог и уровни вероятности неблагоприятных погодных явлений;

- определить затраты при различных уровнях рисков появления i -го погодного фактора.

3. Имитационная модель управления затратами

В данной статье представлена имитационная модель определения затрат на годовые проекты зимнего содержания с учетом неуправляемых, но контролируемых факторов, к которым прежде всего относятся метеорологические факторы.

Имитационное моделирование дает возможность исследовать процесс функционирования системы посредством варьирования ее параметров. Частным случаем имитационного моделирования является статистическое моделирование, предполагающее знание законов распределения параметров системы как случайных величин. При моделировании процессов зимнего содержания дорог такими основными параметрами являются метеорологические факторы.

Из-за многообразия условий зимней эксплуатации дорог, задача управления затратами на выполнение проектов зимнего содержания может решаться достаточно эффективно на уровне региона только при использовании современных информационных технологий, обеспечивающих комплексный подход к решению указанных вопросов [5].

Совокупные нормативные затраты на ликвидацию последствий неблагоприятных климатических явлений представлены в следующем виде:

$$C^{KM} = \sum_i C_i^{KM}(x_i), \text{ при } C_i^{KM} = \sum_j C_{ij}^{KM}(x_i), \quad (1)$$

где C^{KM} - затраты на зимнее содержание 1 км дороги с заданными характеристиками в течение зимнего периода, тыс. грн.;

x_i - вероятностное значение появления i -го погодного фактора;

$C_i^{KM}(x_i)$ - соответствующие затраты на выполнение комплекса работ по ликвидации последствий i -го погодного фактора, $i = \overline{1,3}$ (снегопад, метель, гололед);

$C_{ij}^{KM}(x_i)$ - затраты на выполнение j -го вида работ при ликвидации последствий i -го погодного фактора.

Все затраты зависят от повторяемости и интенсивности погодных явлений, при этом вся информация имеет вероятностный характер и подчиняется статистическим законам распределения.

Планирование ресурсов содержания дорог с уровнем риска 0,5 (при нормальном законе соответствует средним значениям величин метеорологических факторов) может существенно осложнить ситуацию на дорогах данной территории даже при незначительных превышениях значений погодных факторов.

Реализацию данного подхода рассмотрим на примере проведения мероприятий по ликвидации последствий снегопадов при $i = 1$. Затраты на снегоочистку C_1^{KM} зависят от повторяемости снегопадов различной интенсивности в зимний период и средней продолжительности одного снегопада. Каждый из этих показателей имеет свои параметры закона распределения и определенные численные характеристики для данной территории. В качестве комплексного показателя определения объемов работ по патрульной

снегоочистке принят показатель продолжительности снегопадов за зимний период S . Размерность величины S определена в цикло-часах (цикл.-ч.).

Затраты C_1^{KM} также являются функцией текущего значения продолжительности снегопадов s . Закон распределения случайной величины (S) определен как произведение двух случайных нормально распределенных величин - повторяемости снегопадов (z) и длительности одного снегопада (t). Значения интегральной функции распределения $F(s)$ рассчитываются как произведение функций распределения повторяемости снегопадов $F(z)$ и длительности одного снегопада $F(t)$:

$$F(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} e^{-z^2/2} dz \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} e^{-t^2/2} dt. \quad (2)$$

После ряда преобразований интегральная функция распределения $F(s)$ получает следующий вид:

$$F(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} \exp\left[-\frac{(z - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \cdot \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_t} \int_0^{s/z} \exp\left[-\frac{(r - \mu_t)^2}{2\sigma_t^2}\right] dr \right\} dz. \quad (3)$$

где σ_z , σ_t , μ_z , μ_t - соответственно, среднеквадратические отклонения и математические ожидания нормально распределенных величин z и t ;

r - переменная интегрирования s/z .

Если на данной территории параметры снегопадов подчиняются другим законам распределения, то для вывода формулы $F(s)$ необходимы соответствующие преобразования. В реальных условиях величина S меняется в пределах от $S_{\min}$ до $S_{\max}$. Конкретные значения этих величин определяются по статистической выборке. Опираясь на представленные формулы, можно не только определить затраты на ликвидацию последствий снегопадов при заданной вероятности $p(s)$, но и рассчитать необходимые затраты, если случайная величина S превысит текущее значение s , соответствующее выделенным средствам.

Если средства, соответствующие S , не будут выделены, потребительские качества дорог могут выйти за пределы допустимых значений, что связано с рисками, как для подрядной

организации, так и для пользователей дорог. Рассмотрим пример моделирования затрат на снегоочистку дорог разных эксплуатационных категорий, в зависимости от вероятности появления неблагоприятных климатических явлений в течение зимнего периода. В верхней части графика (рис.1) изображены

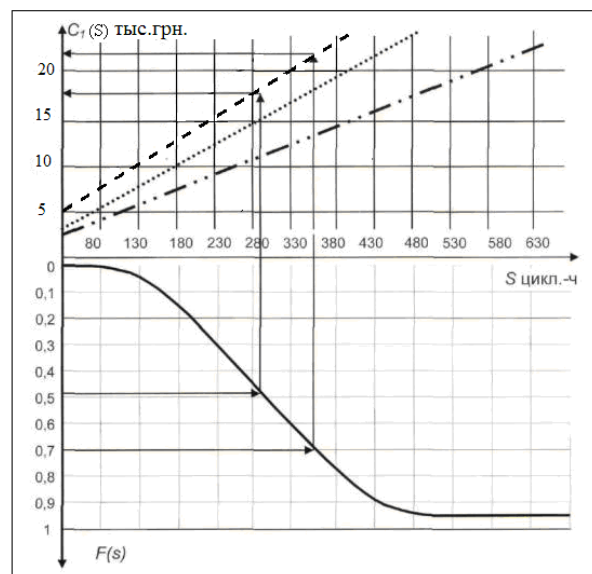


Рис. 1. Оценка затрат на снегоочистку дорог при разных уровнях вероятности неблагоприятных погодных явлений
 ———— - интегральная функция распределения $F(s)$; - - - - - затраты на патрульную снегоочистку для дорог эксплуатационной категории А; - то же, для дорог эксплуатационной категории Б; - то же, для дорог эксплуатационной категории В

линейные функции распределения изменения нормативных затрат $C_1(S)$ на ликвидацию последствий снегопадов для дорог разных эксплуатационных категорий (А, Б, В), в зависимости от значения S (определено в цикло-часах), в нижней части - интегральная функция распределения $F(s)$.

На примере расчета нормативных затрат на зимнее содержание 1 км дорог эксплуатационной категории А, рассмотрим последовательность действий при прогнозировании затрат:

1. Изобразим линейные функции распределения изменения нормативных затрат $C_1(S)$ на ликвидацию последствий снегопадов для дорог разных эксплуатационных категорий (А, Б, В). Функция распределения изменения нормативных затрат $C_1(s)$ имеет вид:

$$C_A(S) = \Delta C_A + K_A S \quad (4)$$

где $C_A(S)$ - изменение нормативных затрат на ликвидацию последствий снегопадов для дорог эксплуатационной категории А, грн.;

ΔC_A - начальные затраты на ликвидацию последствий снегопадов для дорог эксплуатационной категории А, грн.;

K_A - эксплуатационные затраты в грн. на снегоуборочную машину на 1 цикл. ч., 1/цикл. ч.;

S - показатель продолжительности снегопадов за зимний период, цикл. ч.

2. При уровне вероятности неблагоприятных погодных явлений $s = 0,5$ по графику интегральной функции распределения $F(s)$ определяем значение параметра $S = 290$ цикл. ч. для патрульной снегоочистки;

3. При таком значении параметра s нормативные затраты на ликвидацию последствий снегопадов за зимний период на 1 км дорог эксплуатационной категории А составят $C_A(S) = 18$ тыс. грн.;

4. Если вероятность возникновения неблагоприятных явлений возрастет до $s = 0,7$, что соответствует $S = 355$ цикл. ч., нормативные затраты на зимнее содержание увеличатся до $C_A(S) = 22$ тыс. грн. на 1 км дорог эксплуатационной категории А.

Изменение нормативных затрат на содержание 1 км дороги потребует от подрядчика использования всех внутренних резервов, необходимых для обеспечения требуемого уровня содержания дороги и соответствующего уровня безопасности для участников дорожного движения. Что касается Заказчика, то с его стороны необходимо резервировать средства, на случай увеличения объемов работ, в сумме 4 тыс. грн., без учета индексации цен.

Выходные данные моделирования позволяют оценивать не только сумму страхового резерва, но и потребность в ресурсах всех видов (машины, материалы, энергоресурсы, трудовые ресурсы) для выполнения объемов работ, необходимых для поддержания элементов дорог в соответствии с нормативными требованиями.

4. Выводы

Таким образом разработана имитационная модель, которая, в отличие от известных, учитывает риски и позволяет оценивать общие затраты на зимнее

содержание сети автомобильных дорог при заданной вероятности появления неблагоприятных явлений.

Список литературы: 1. Самодурова Т.В. Оперативное управление зимним содержанием дорог Научные основы: Монография [Текст] / Т.В. Самодурова. - Воронеж: Изд-во Воронеж, гос. ун-та, 2003.-168 с. 2. ДБН В.2.3 - 4 - 2000 - Государственные строительные нормы Украины. Автомобильные дороги [Текст]. - 2000. - 404 с. 3. Гасанов Г.М. Оценка риска при планировании работ по ремонту и содержанию автомобильных дорог [Текст] / Г.М. Гасанов. Транспорт: Наука, техника, управление. Научный информационный сборник / ВИНТИ. - М.2006 -№1-С. 46-47. 4. ОДМ 218.0.000-2003. Руководство по оценке уровня содержания автомобильных дорог [Текст]. - М: Федеральная дорожная служба России, 2003. -75 с. 5. Боброва Т.В. Сохраним построенное [Текст] / Т.В. Боброва, А.П. Протопопов. Дороги России XXI век. - 2002. -№2 - С. 94-98.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 681.324.032

А.О.КОВАЛЬ, асис, ХНАДУ, Харків

ЛІНІЙНА НЕЙРОМЕРЕЖЕВА ДИНАМІЧНА ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА З ПОСЛІДОВНИМ ВІДНОВЛЕННЯМ І ФІЛЬТРАЦІЄЮ ВХІДНОГО СИГНАЛУ ДАТЧИКА

На основі використання нейромережевих алгоритмів розроблена модель лінійної нейромережевої динамічної вимірювальної системи здатної адаптувати свої динамічні параметри під умови проведення вимірювань.

Ключові слова: нейромережеві алгоритми, вимірювальна система, математичне моделювання.

На основе использования нейросетевых алгоритмов разработана модель линейной нейросетевой динамической измерительной системы способной адаптировать свои динамические параметры под условия проведения измерений.

Ключевые слова: нейросетевые алгоритмы, измерительная система, математическое моделирование.

Based on the use of neural network algorithms. A model of a linear neural network dynamic measuring system has been developed is able to adapt it's dynamic parameters to measurement conditions.

Keywords: neural network algorithms, measuring system, mathematical modeling.

Вступ

Розробка динамічних моделей вимірювальних систем на базі нейронних мереж і алгоритмів обробки даних динамічних вимірювань з використанням нейромережевих технологій є одним з актуальних шляхів розвитку процесу інтелектуалізації сучасної вимірювальної техніки. Успішний розв'язок даного завдання значно поліпшить метрологічні характеристики і ефективність існуючих первинних вимірювальних перетворювачів без значних матеріальних витрат за рахунок глибокої математичної обробки результатів вимірювань. Крім того, впровадження таких динамічних моделей і алгоритмів, а також їх прикладного програмного забезпечення дозволить створювати інтелектуальні вимірювальні перетворювачі й системи зі здатністю до індивідуалізації своїх

динамічних параметрів під зовнішні впливаючі фактори і умови проведення вимірювань.

Динамічна модель нейромережевої вимірювальної системи

Досліджуваний первинний вимірювальний перетворювач (датчик) описується наступною лінійною передаточною функцією (ПФ):

$$W_s(p) = K_0 \cdot \frac{\prod_{i=1}^{m_1} (T_{2i}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi_{2i} \cdot T_{2i} \cdot p + 1) \cdot \prod_{i=m_1+1}^{m_2} (T_{2i} \cdot p + 1)}{\prod_{j=1}^{n_1} (T_{1j}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi_{1j} \cdot T_{1j} \cdot p + 1) \cdot \prod_{j=m_1+1}^{n_2} (T_{1j} \cdot p + 1)}, \quad (1)$$

де $U(p)$, $Y(p)$ - зображення по Лапласу, відповідно вхідного та вихідного сигналів датчика; T_{1j} , T_{2i} - постійні часу датчика; ξ_{1j} , ξ_{2i} - коефіцієнти демпфування; $i = \overline{1, m_2}$, $j = \overline{1, n_2}$; K_0 - статичний коефіцієнт підсилення; p - комплексна змінна.

Ступінь чисельника m_s , ступінь знаменника (порядок) n_s і ступінь q_s ПФ датчика визначаються, відповідно, як

$$m_s = m_1 + m_2, \quad (2)$$

$$n_s = n_1 + n_2, \quad (3)$$

$$q_s = n_s - m_s = n_1 - m_1 + n_2 - m_2. \quad (4)$$

Відновлення вхідного сигналу датчика із ПФ (1) здійснюється по його обмірюваному вихідному сигналу на основі НСИС, що представляє собою послідовне з'єднання коригувального фільтра (КФ) і ідентичних нелінійних нейромережевих вимірювальних перетворювачів (НМВП), які апроксимують інверсну ПФ аперіодичних ланок першого порядку з постійною часу рівній максимальній з постійних часу елементарних динамічних кіл, що становлять знаменник ПФ датчика: $T_1 = \max(T_{1j} | j = \overline{1, n_2})$.

Фільтрація шумової складової відновлюваного сигналу

Корекція інерційності первинного вимірювального перетворювача на основі структури НМВП, що забезпечує відновлення динамічно перекрученого вхідного сигналу датчика, супроводжується значним посиленням адитивного шуму, який присутній на його виході, а також внутрішніх шумів НМВП. Тому в процесі послідовного відновлення необхідно здійснювати низькочастотну фільтрацію відновлюваного сигналу. Для досягнення цієї мети структура НМВП була представлена в лінійній формі й розширена до нейромережевого вимірювального перетворювача першого порядку з фільтрацією відновлюваного сигналу (НМВПФ). Отримана структура являє собою в термінах теорії обробки сигналів рекурсивний дискретний фільтр [4] з налаштованими параметрами.

Динамічна модель нейромережевого вимірювального перетворювача

Структурна схема НМВПФ наведена на рис. 1. НМВПФ складається з адаптуемого лінійного нейрона, охопленого рекурентним зворотним зв'язком. Як видно з рис.1, у структурі НМВПФ відсутній характерний для нейронних мереж зсув нейрону, що обумовлене необхідністю наявності нульового виходу

фільтра при нульовому вході.

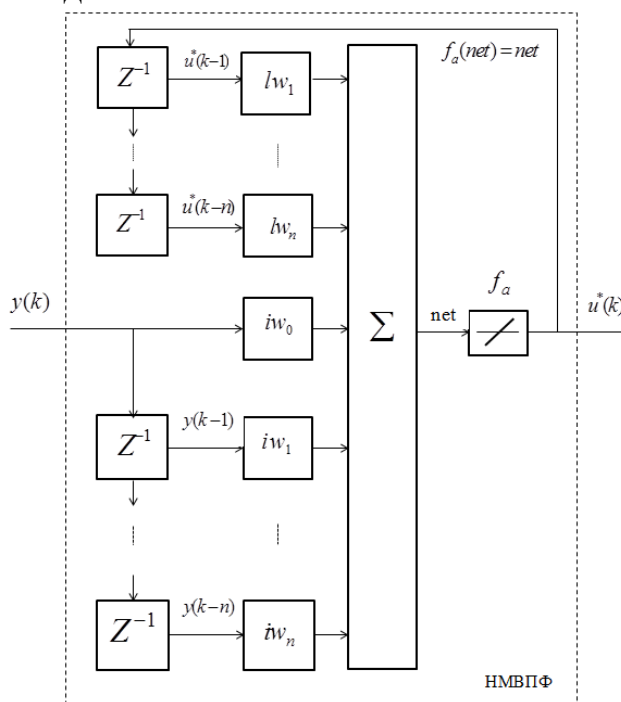


Рис. 1. Структурна схема НМВПФ

Зв'язок між виходом і входом НМВПФ описується у вигляді наступного рекурентного рівняння:

$$u^*(k) = f_a(net) = net = \sum_{i=1}^n lw_i \cdot u^*(k-i) + \sum_{j=0}^n iw_j \cdot y(k-j), \quad (5)$$

де $y(k)$, $u^*(k)$ - значення сигналів, відповідно, з виходу датчика й НМВПФ у дискретні моменти часу $t_k = k \cdot T_N$; T_N - період квантування, $k = 0, 1, 2, \dots$; $f_a(net)$ - функції активації нейрона НМВПФ (лінійна функція); lw_i , iw_j - ваги синапсів, котрі визначають параметри нейрона, «рекурсивної» і «нерекурсивної» частини НМВПФ, відповідно, $i = (\overline{1, n})$, $j = (\overline{0, n})$, n - порядок НМВПФ.

Процедура навчання нейромережевого вимірювального перетворювача

Процедура навчання НМВПФ (тобто підстроювання його змінних параметрів) полягає в мінімізації величини сукупної по всіх N відлікам вхідної навчальної послідовності середньоквадратичної похибки між бажаним $h(k)$ і реальним виходом мережі $h^*(k)$:

$$E = E(lw_1, \dots, lw_n, iw_0, \dots, iw_n) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^N \left(h(k-d) - h^*(k-d) \right)^2. \quad (6)$$

Схема навчання НМВПФ у статичному режимі при розімкненому рекурентному зворотньому зв'язку й відсутності елементів затримки z^{-1} наведена на рис. 2. При формуванні вихідної і вхідної навчальної

послідовностей використовуються дискретні значення затриманої в часі на d тактів квантування перехідної характеристики $h(k-d)$ аперіодичного кола першого порядку з постійною часу $T_1 = \max(T_{1j} | j = \overline{1, n_2})$, а також дискретні значення реакції $h_1(k)$ даного кола на свою перехідну характеристику.

Крім того, вхідна навчальна послідовність містить у собі адитивну складову $v(k)$, яка несе апіорну інформацію, про шуми на виході датчика. У якості такої складової може виступати, наприклад, сигнал у вигляді білого гауссівського шуму зі значенням середньоквадратичного відхилення (СКВ) рівним оцінці СКВ шуму, що має місце в реальних умовах вимірювань. При цьому, як показали проведені дослідження, параметр d суттєво впливає на результуючі характеристики фільтра, тому доцільно покласти $n = d$, а саме значення параметра вибирати, ґрунтуючись на якому-небудь критерії необхідної якості фільтрації.

Схема навчання, наведена на рис. 2, дозволяє обминути необхідність синтезу динамічного алгоритму навчання НМВПФ, і використовувати добре досліджені алгоритми навчання статичних нейронних мереж. Після навчання НМВПФ у статичному режимі за даною схемою структура НМВПФ може функціонувати в динамічному режимі згідно зі схемою, наведеною на рис. 1.

Алгоритм послідовної корекції інерційності датчика

Структурна схема послідовної корекції інерційності датчика на основі лінійної нейромережевої вимірювальної системи із фільтрацією відновлюваного сигналу, яка проводиться за допомогою розробленої динамічної моделі НМВПФ, наведена на рис. 3. Згідно із цією схемою дискретні відліки вихідного сигналу датчика $y_s(k)$, що має адитивну шумову складову, надходять на вхід КФ. ПФ даного фільтра являє собою інверсну ПФ датчика (1) зі ступенем $q_s > 0$, доповнену до фізично реалізованої форми (тобто до нульового ступеня

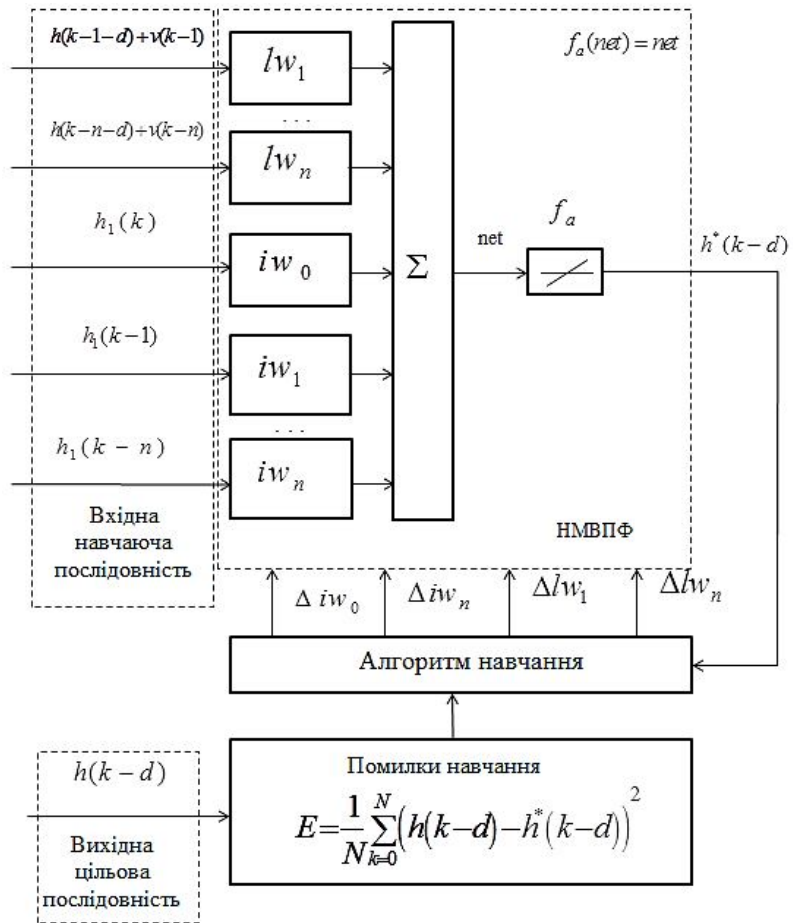


Рис. 2. Схема навчання НМВПФ у статичному режимі

ПФ КФ) необхідною кількістю ідентичних аперіодичних кіл першого порядку з постійною часу рівній максимальній з постійних часу елементарних динамічних кіл, що становлять знаменник ПФ датчика. При цьому кількість таких кіл дорівнює ступеню ПФ датчика (1). Вихід КФ є входом структури, що представляє собою послідовне з'єднання ідентичних НМВПФ, які одночасно апроксимують інверсну ПФ аперіодичних ланок першого порядку і коригувальних підсилену шумову складову вихідного сигналу датчика. При цьому кількість таких послідовно з'єднаних НМВПФ дорівнює ступеню ПФ датчика (1).

Таким чином, корекція інерційності датчика на основі описаної структури зводиться до відновлення й фільтрації вихідного сигналу аперіодичного кола першого порядку незалежно від порядку та ступеня ПФ датчика.

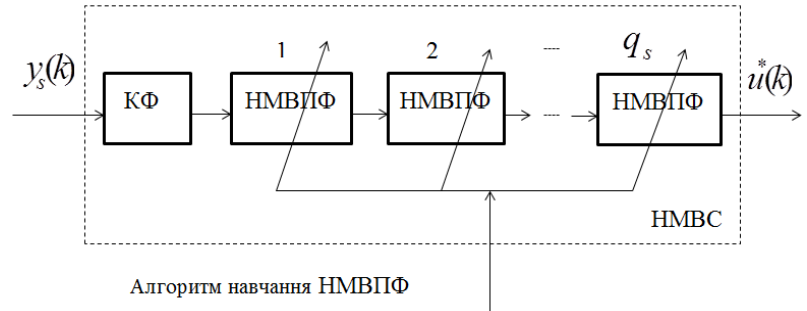


Рис. 3. Схема послідовної корекції інерційності датчика

Результати математичного моделювання

Для ілюстрації можливостей запропонованих моделей і алгоритмів було проведено математичне моделювання. В якості прикладу був розглянутий датчик другого порядку, що має ПФ наступного виду:

$$W_s(p) = \frac{1}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1} \quad (7)$$

На вхід датчика, описуваного ПФ (7) з постійною часу $T = 52$ с і коефіцієнтом демпфування $\xi = 1.2$ подавався сигнал у вигляді функції Хевісайда. На виході датчика був присутній адитивний шум у вигляді білого гауссівського шуму зі СКВ рівним 0,0048.

Навчання НМВПФ проводилося згідно зі схемою, зображеною на рис. 2. При цьому для формування навчальної послідовності як оцінки СКВ шуму який діяв на виході датчика, було прийняте значення рівне 0,0047. Значення параметра d було обрано рівним 32, виходячи зі складового критерію максимуму динамічної точності НВПФ при мінімумі інерційності НМВПФ. У якості алгоритму навчання НМВПФ у статичному режимі був використаний алгоритм Левенберга-Марквардта.

Результати моделювання наведені на рис. 4 у вигляді

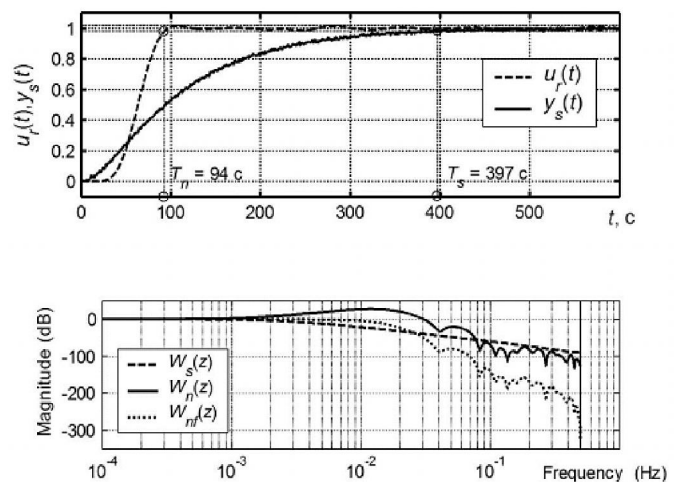


Рис.4. Результат моделювання в Matlab

графіків вихідного й відновленого сигналів датчика та АЧХ отриманої моделі

(5) НВПФ ($W_n(z)$), дискретної моделі датчика ($W_s(z)$) і отриманої моделі фільтра в структурі НМВПФ ($W_{nf}(z) = W_n(z) \cdot W_s(z)$). З отриманих даних видно, що за рахунок більш глибокої математичної обробки результатів вимірювань час T_n , через який відновлений вхідний сигнал датчика входить у зону $\pm 2\%$ від амплітуди вимірюваного сигналу, зменшився більш ніж в 4 рази відносно того часу T_s , за який вихідний сигнал датчика досягає тих же меж.

Висновок

Розглянутий алгоритм корекції інерційності датчика на основі динамічної моделі нейромережевої вимірювальної системи з послідовним відновленням і фільтрацією вхідного сигналу датчика дозволяє за рахунок більш глибокої математичної обробки результатів вимірювань покращити метрологічні характеристики первинного вимірювального перетворювача без зміни його структури, конструкції та параметрів. Результати проведеного математичного моделювання підтверджують можливість створення на основі запропонованої динамічної моделі нейромережевого вимірювального перетворювача інтелектуальних вимірювальних систем зі здатністю до адаптації своїх динамічних параметрів під зовнішні впливаючі фактори і умови проведення вимірювань.

Список літератури: 1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. - СПб.: Питер, 2003. 608 с. 2. Медведев В.С., Потьомкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. 496 с. 3. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления // Нейрокомпьютеры и их применение. Кн. 8. - М.: ИПРЖР, 2002. 479

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 656.212

Р. В. ВЕРНИГОРА, доц., ДНУЗТ ім. ак. Лазаряна, Дніпропетровськ
О. О. МАЗУРЕНКО, асис, ДНУЗТ ім. ак. Лазаряна, Дніпропетровськ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ДВОГРУПНИХ ПОЇЗДІВ В ОПЕРАТИВНИХ УМОВАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ

Наведено загальну структуру імітаційної моделі залізничного напрямку, яка була використана для дослідження ефективності системи оперативної організації вантажних вагонопотоків на залізничному напрямку з використанням технології формування двогрупних поїздів.

Ключові слова: вагонопотік, оперативне керування, імітаційна модель, залізничний напрямок, двогрупний поїзд

Приведена общая структура имитационной модели железнодорожного направления, которая была использована для исследования эффективности оперативной организации грузовых вагонопотоков в поезда на железнодорожном направлении с использованием технологии формирования двугруппных поездов.

Ключевые слова: вагонопоток, оперативное управление, имитационная модель, железнодорожное направление, двугрупный поезд

There has been described structure of a simulation model of the railway direction which can be used for studying the effectiveness of the operative organization of freight wagonflows into the trains on railway direction with the use of technology of making-up the two-unit trains.

Key words: wagonflows, operative making-up the trains, simulation model, railway direction, two-unit train

Вступ та постановка задачі

В сучасних умовах функціонування залізничного транспорту України значна увага повинна приділятися зменшенню витрат на перевезення вантажів. Одним з можливих заходів щодо зменшення власних витрат залізниць є удосконалення системи організації вантажних вагонопотоків у поїзди. Як показує практика роботи залізниць, в певних оперативних умовах доцільно застосовувати технологію формування двогрупних поїздів на технічних станціях. При цьому виникає проблема отримання достовірної кількісної оцінки ефективності того чи іншого варіанту коригування діючого плану формування поїздів. Виконання досліджень щодо впливу тих чи інших варіантів організації вагонопотоків на витрати залізниць на реальних об'єктах (залізничних напрямках і станціях) є неможливим.

Кількісну оцінку техніко-експлуатаційних та економічних показників роботи окремого залізничного напрямку для кожного з можливих варіантів організації вагонопотоків та/або зміни технології їх обслуговування найбільш доцільно виконувати за допомогою методів імітаційного моделювання.

В даній статті розглянута структура та порядок побудови функціональної імітаційної моделі роботи залізничного напрямку, яка може бути використана для виконання досліджень щодо впливу системи оперативної організації вантажних вагонопотоків на витрати залізниць по формуванню та просуванню поїздів на залізничному напрямку.

Аналіз досліджень і публікацій

Розробці методики імітаційного моделювання залізничних станцій та напрямків присвячена достатньо велика кількість наукових робіт. Так, наприклад, в роботах [1, 2] розроблено математичні моделі для імітації процесу поїздоутворення та просування поїздів на мережі з застосуванням об'єктно-орієнтованої системи моделювання.

Серед імітаційних моделей функціонування залізничної мережі цікавим є досвід вчених БілізТу. В роботах [3, 4] запропоновано систему автоматизованого створення імітаційної моделі залізничної мережі на основі імітаційних моделей залізничних станцій, які входять до її складу. Розроблені моделі станцій формалізовані на основі теорії сітьового планування та теорії масового обслуговування. Основними недоліками даних моделей є складність їх побудови та дискретність у моделюванні роботи залізничної мережі, тобто робота кожної станції мережі моделюється автономно, а отримані результати є вихідними даними для моделювання роботи наступної станції. Це не дозволяє застосовувати такі моделі для дослідження роботи залізничної мережі в умовах оперативного керування організацією вагонопотоків.

Однією з основних проблем, що виникають при функціональному моделюванні роботи залізничних мереж та станцій, є складність формалізації технологічних процесів обробки поїздів, які можуть суттєво відрізнятися для

різних категорій поїздів. Для полегшення й спрощення підготовки до моделювання в ДНУЗТі виконано комплекс науково-дослідних робіт, що пов'язані з розробкою методики формалізації технології обслуговування поїздів та технічного оснащення станцій. Для врахування впливу оперативно-диспетчерського персоналу в [5] запропоновано концепцію ергатичних моделей станцій, в яких людина бере безпосередню участь в процесі моделювання і керує технологічним процесом станції, виконуючи функції диспетчера. В роботі [6] запропоновано імітаційну модель залізничного напрямку, в якій технологія роботи напрямку формалізована на основі теорії скінчених автоматів. Дана модель використовується для дослідження організації руху поїздів та впливу їх параметрів на показники роботи залізничних напрямків. Розроблені моделі дозволяють адекватно моделювати роботу залізничних мереж та станцій. Разом з тим для виконання досліджень функціонування залізничних мереж та станцій в умовах застосування оперативного керування роботою є необхідним подальше удосконалення вказаних моделей.

Результати досліджень

Об'єктом дослідження обрано залізничний напрямок, до складу якого входить три технічних станції (А, В та С). Залізничний напрямок та окрема технічна станція, розглядаються як складні керовані системи масового обслуговування (СМО), що складаються з багатьох різних елементів, які в процесі роботи тісно взаємодіють між собою та мають взаємний вплив (станції, ділянки, колії, бригади технічного обслуговування та ін.).

Розроблена авторами функціональна модель залізничного напрямку (ФМН) є дворівневою. При цьому на макрорівні моделюється робота всього напрямку в цілому, а на мікрорівні – робота кожної окремої технічної станції напрямку.

У загальному вигляді ФМН може бути представлена структурою:

$$D = \left\{ \begin{matrix} S_1, S_2, \dots, S_n \\ Pg_1, Pg_2, \dots, Pg_n \end{matrix} \right\}$$

де S_i – окрема технічна станція, що входить до складу залізничного напрямку; Pg_i – окрема ділянка між двома технічними станціями.

Структура ФМН включає наступні моделі:

- генератор вхідного потоку поїздів (ГВП);
- модель оперативного керування організацією вагонопотоків (МОКЗН);
- функціональні моделі роботи кожної окремої технічної станції напрямку (ФМС). Структура ФМН та схема взаємодії її моделей наведена на рис. 1.

Генератор вхідного потоку (ГВП) призначений для моделювання надходження поїздів на кожну станцію з тих підходів, які не входять до складу даного залізничного напрямку.

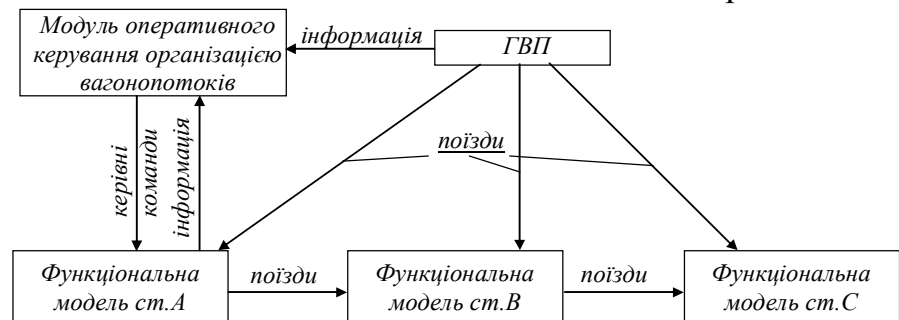


Рис.1. Структура функціональної моделі залізничного напрямку

Моделювання надходження заявок на окрему станцію з тих станцій, які входять до даного напрямку, виконується за результатами роботи попередньої станції та з використанням графікової тривалості руху поїздів.

Вхідний потік представляє собою множину поїздів різних категорій, що прибувають на технічну станцію. Параметри кожного об'єкта O_j в розробленій моделі визначаються структурою:

$$O_j = \{S, T_{\text{пр}}, \mathbf{P}, \mathbf{B}\},$$

де S – ідентифікатор станції надходження поїзда; $T_{\text{пр}}$ – момент прибуття поїзда на станцію; $\mathbf{P}$ – список параметрів поїзда; $\mathbf{B}$ – список параметрів процесу обслуговування поїзда на станції.

Поїзди можуть надходити на кожну станцію напрямку з декількох підходів. Момент надходження чергового поїзда O_j на станцію з підходу, що не входить до обраного напрямку, визначається за формулою:

$$T_{\text{пр}}(j) = T_{\text{пр}}(j-1) + I_j; (T_0 = 0),$$

де $T_{\text{пр}}(j-1)$ – момент прибуття на станцію попереднього $(j-1)$ поїзда;

I_j – інтервал прибуття між суміжними $(j-1)$ та j поїздами.

Величина I_j моделюється за певним законом розподілу, або встановлюється у відповідності до розкладу.

Момент надходження поїзда O_j на станцію i з попередньої станції $(i-1)$ залізничного напрямку визначається за формулою

$$T_{\text{пр}j}(i) = T_{\text{вих}j}(i-1) + t_{\text{x}j},$$

де $T_{\text{вих}j}(i-1)$ – момент відправлення O_j поїзда зі станції $(i-1)$;

$t_{\text{x}j}$ – тривалість руху поїзда між станціями $i-1$ та i .

Момент виходу поїзда зі станції $T_{\text{вих}}(i-1)$ визначається за результатами обслуговування заявки в ФМС станції $i-1$. Величина $t_{\text{x}j}$ встановлюється відповідно до графіку руху поїздів між даними станціями.

Рішення про застосування оперативного керування організацією вагонопотоків на залізничному напрямку, на практиці, приймає поїзний диспетчер, після узгодження цього рішення з дорожнім поїзним диспетчером.

Для моделювання оперативних рішень поїзного диспетчера щодо можливості формування на головній станції двогрупного поїзда до складу ФМН включено МОКЗН. Оцінювання та прийняття рішення щодо формування окремого двогрупного поїзда виконується відповідно до спеціально розробленої процедури [7].

Для моделювання роботи технічних станцій напрямку розроблено відповідні функціональні моделі станцій [8]. При цьому в кожну модель технічної станції включено модуль оперативного керування технологічним процесом станції (МОКТП). Структура ФМС та схема взаємодії її основних моделей наведена на рис. 2.

Призначенням МОКТП є визначення та застосування раціональної (адаптивної) технології обміну груп вагонів у двогрупних поїздах в залежності від оперативних умов функціонування станції та експлуатаційної ситуації на напрямку.

На залізниці рішення про застосування адаптивної технології обробки двогрупних поїздів приймає маневровий або станційний диспетчер сортувальної станції за погодженням з поїзним диспетчером. Для цього маневровий диспетчер завчасно, враховуючи інформацію щодо двогрупного поїзда, аналізує можливі варіанти його обробки та обирає найбільш раціональний. Інформація, яка необхідна для аналізу варіантів обробки двогрупного поїзда, може бути поділена на зовнішню та внутрішню.

До зовнішньої інформації, яка може бути отримана від поїзного диспетчера або з НАСК ВП УЗ, відносяться відомості щодо моменту надходження поїзда на станцію та його складу. Внутрішня інформація формується безпосередньо на самій станції. Для забезпечення найбільш якісного планування роботи сортувальної станції необхідна наявність наступної оперативної інформації: план (графік) прибуття поїздів із сусідньої станції; наявність вагонів на коліях в парках станції; склад двогрупного поїзда (кількість вагонів у кожній з груп, місце їх розташування).

Наявність цих даних дозволяє завчасно підготуватися до обробки двогрупного поїзда з урахуванням найбільш раціонального використання резервів станції, необхідних для його обслуговування. В розробленій ФМН значення необхідних для прийняття рішення входних параметрів моделюються за допомогою ГВП відповідних станцій як випадкові величини за законами розподілу, які наведено в [9].

Синхронізація моделей ФМС та ФМН виконується в дискретні моменти системного часу T_c , який змінюється з певним кроком. Всі вказані моделі побудовані та реалізовані з застосуванням об'єктно-орієнтованого підходу у середовищі C++.

Розроблена модель функціонування залізничного напрямку дозволяє отримати необхідні експлуатаційні показники роботи за певний період як окремих технічних станцій, так і залізничного напрямку в цілому при тій чи іншій системі організації вагонопотоків. Окрім того, за допомогою розробленої імітаційної моделі напрямку, можна отримати значення загальних витрат на організацію вагонопотоків по кожному з можливих варіантів оперативного коригування плану формування.

З метою визначення придатності розробленої імітаційної моделі до виконання практичних досліджень була виконана її ідентифікація та оцінка адекватності. Для ідентифікації моделі виконано комплексне дослідження двох великих сортувальних станцій України, за результатами якого визначені закони розподілу випадкових величин тривалості накопичення одnogрупних составів, тривалості знаходження вантажних поїздів різних категорій на станції, а також статистичні характеристики входного потоку поїздів. Порівняння, на основі

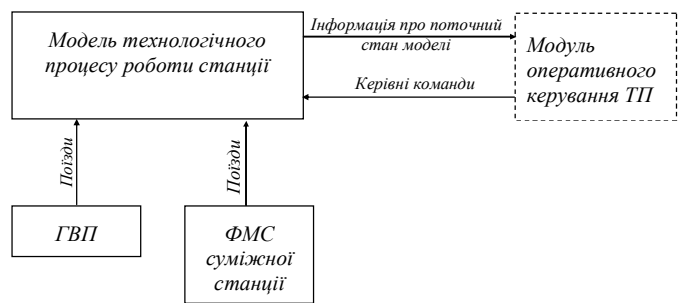


Рис. 2. Структура функціональної моделі технічної станції

параметричного критерію Уїлкоксона, показників роботи кожної сортувальної станції, отриманих на реальному об'єкті та у результаті моделювання дозволило зробити висновок про адекватність розроблених моделей станцій та можливість їх використання для вирішення прикладних задач.

За допомогою розробленої імітаційної моделі залізничного напрямку було виконано дослідження впливу системи оперативного формування двогрупних

поїздів з попутних одnogрупних призначень на окремі експлуатаційні показники роботи, а також на витрати по організації вантажних вагонопотоків у поїзди окремих технічних станцій та залізничного напрямку в цілому. Схема залізничного напрямку, на прикладі якого було виконано дослідження, та можливі варіанти організації вагонопотоків наведені на рис.3.

Вихідні дані до моделювання наведені в табл.1. Технологія та тривалість обробки поїздів різних категорій прийняті відповідно до технологічних процесів технічних станцій, що входять до складу обраного залізничного напрямку.

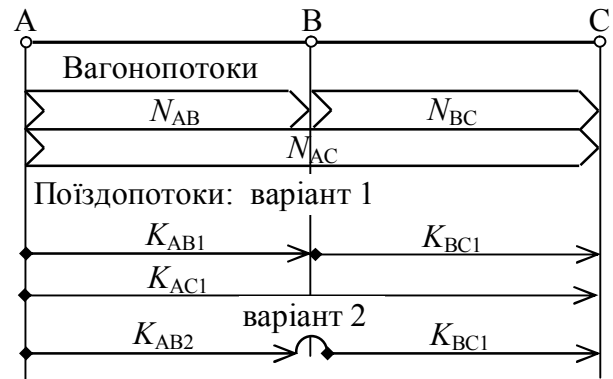


Рис.3. Схема залізничного напрямку та варіанти організації вагонопотоків у поїзди.

Умовні позначення: N_{AB} , N_{BC} , N_{AC} – розміри вагонопотоків; K_{AB1} , K_{AC1} , K_{BC1} – кількість одnogрупних поїздів; K_{AB2} – кількість двогрупних поїздів.

Таблиця 1. Вихідні дані до моделювання

Найменування елементів	Позначення	Одиниця виміру	Числове значення
Кількість вагонів у складі поїзда	m	вагони	50
Вагонопотік із А призначенням на станцію С	N_{AC}	вагони	200
Вагонопотік із А призначенням на станцію В	N_{AB}	вагони	200
Вагонопотік із В призначенням на станцію С	N_{BC}	вагони	200
Витратна ставка на 1 вагоно-годину	$e_{вг}$	грн	3,67
Витратна ставка на 1 локомотиво-годину маневрової роботи	$e_{мл}$	грн	82,1
Витратна ставка на 1 локомотиво-годину простою поїзного локомотива	$e_{пл}$	грн	148,8

У якості результатів фіксувалися наступні показники роботи станцій А та В для двох попутних призначень плану формування поїздів за період роботи протягом одного року:

- кількість поїздів по категоріям (одnogрупні, двогрупні), які прийнято та відправлено зі станцій;
- сумарні вагоно-години знаходження вагонів кожного призначення на технічних станціях;
- обсяг маневрової роботи, пов'язаної з формуванням, розформуванням та обміном груп вагонів;
- тривалість знаходження поїзних локомотивів на технічних станціях;
- сумарні витрати пов'язані з організацією вагонопотоків.

Для порівняння варіантів організації вантажних вагонопотоків у поїзди в табл. 2 наведено результати моделювання при формуванні лише одnogрупних поїздів на обрані призначення, та при оперативному формуванні двогрупних поїздів.

Таблиця 2. Результати моделювання роботи залізничного напрямку

Техніко-експлуатаційні показники		Існуючий ПФП	Оперативне коригування ПФП
Кількість сформованих поїздів	K_{AB}	1453	787
	K_{AC}	1459	905
	K_{ABC}	0	1220
	K_{BC}	1427	1099
Вагоно-години простою, тис. ваг-год	ст А	691,75	542,48
	ст В	521,48	521,54
	залізничний напрямок	1213,23	1064,02
Тривалість роботи маневрового локомотива, тис. лок-год	$Mt_{манА}$	1,6	1,85
	$Mt_{манВ}$	1,44	2,39
Тривалість простою поїзного локомотива, тис. лок-год	$Mt_{плА}$	0,87	0,87
	$Mt_{плВ}$	6,47	6,80
Річні витрати E , тис. грн. за рік	станція А	2800,303	2272,414
	станція В	2994,494	3122,177
	сумарні	5794,797	5394,591
Економія витрат (у порівнянні з формуванням лише одnogрупних поїздів), тис. грн			400,206

Аналізуючи результати, наведені в табл.2, можна зробити висновок, що формування двогрупних поїздів в оперативних умовах є ефективним заходом щодо удосконалення системи організації вагонопотоків у поїзди, який дозволяє суттєво зменшити власні експлуатаційні витрати залізниць.

Висновки

Розроблена модель роботи залізничного напрямку може бути застосована для дослідження, аналізу та оцінки варіантів організації вантажних вагонопотоків у поїзди. Формування двогрупних поїздів на базі попутних одnogрупних призначень в оперативних умовах забезпечує економію експлуатаційних витрат на організацію вагонопотоків у поїзди на залізничному напрямку без додаткових капітальних вкладень.

Список літератури: 1. Ульяницкий Е.М. Моделирование процессов управления вагонопотоками на железнодорожном транспорте [Текст] / Е.М. Ульяницкий, В.Н. Скларов // Вестник ВНИИЖТа. – 2003. – № 6. – С.39-42. 2. Буринская З. Имитационное моделирование процесса распределения сортировочной работы и вагонопотоков между станциями [Текст] / З. Буринская, А. Кутах, В. Мироненко, Т. Фурсова // Збірник наукових праць КУЕТТ. – 2002. – № 1. – С.141-148. 3. Сукач Е.И. Автоматизация процесса исследования вариантов организации перемещения транспортных потоков в железнодорожной сети [Текст] / Е.И. Сукач //

Математичні машини і системи. – 2009. – № 4. – С.161-168. 4. *Максимей И.В.* Имитационное моделирование вероятностных характеристик функционирования железнодорожной сети [Текст] / И.В. Максимей, Е.И. Сукач, П.В. Гируц, Е.А. Ерофеева // Математичні машини і системи. – 2008. – № 4. – С.147-153. 5. *Бобровский В.И.* Техничко-економическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей [Текст] / В.И. Бобровский, Д.Н. Козаченко, Р.В. Вернигора // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2004. – №6. – С.17-21. 6. *Козаченко Д.М.* Моделювання роботи залізничного напрямку [Текст] / Д.М. Козаченко, Г.Я. Мозолевич, О.В. Власюк // Вісник ДНУЗТ. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 28. – С.143-148. 7. *Мазуренко О.О.* Визначення ефекту від оперативного формування двогрупних поїздів на базі одnogрупних призначень [Текст] / О.О. Мазуренко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №6/3(54). – С.7-13. 8. *Вернигора Р.В.* Дослідження процесів составоутворення на сортувальних станціях методами імітаційного моделювання [Текст] / Р.В. Вернигора, О.В. Пугач // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №6/4(48). – С.52-55. 9. *Мазуренко О.О.* Визначення характеру надходження вагонів на окремі призначення плану формування [Текст] / О.О. Мазуренко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2010. – Вип.113. – С. 128-134.

Поступила в редколлегию 19.11.2011

УДК 004.9:004.031

О.Ю. ЧЕРЕДНІЧЕНКО, канд.техн.наук, доц., НТУ «ХПІ», Харків

О.В. ЯНГОЛЕНКО, асп., НТУ «ХПІ», Харків

Т.М. ЗАПОРОЖЕЦЬ, маг, НТУ «ХПІ», Харків

О.В. ЯКОВЛЕВА канд.техн.наук, доц., ХНУРЕ, Харків

АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ ЗНАНЬ

Наведені функціональні та нефункціональні вимоги до інформаційної системи автоматизованого тестування знань. Розглянуті сценарії роботи основних користувачів. Проаналізовані особливості процесів створення тесту, розрахунку оцінок рівня знань та надійності тесту.

Ключові слова: тестування знань, інформаційна система, програмні вимоги

Приведены функциональные и нефункциональные требования к информационной системе автоматизированного тестирования знаний. Рассмотрены сценарии работы основных пользователей. Проанализированы особенности процессов создания теста, расчета оценок уровня знаний и надежности тестов.

Ключевые слова: тестирование знаний, информационная система, программные требования

The functional and non-functional requirements for information system of automated knowledge testing are given. The main users' workflows are considered. The peculiarities of the processes of test creation, calculation of knowledge estimates and test reliability are analyzed

Keywords: knowledge testing, information system, software requirements

Вступ

Тестування є засобом контролю засвоєння студентами навчального матеріалу. Використання тестів дозволяє здійснити перехід від суб'єктивних оцінок викладачів до об'єктивних, науково обґрунтованих методів оцінки результатів навчання. Актуальність тестування підтверджується тим, що цей

метод широко використовується у вищих навчальних закладах (ВНЗ) для тренувального, проміжного та підсумкового контролю знань.

На сьогодні існує дві основні теорії, що дозволяють обробляти результати тестування та оцінювати рівень знань: класична теорія тестів (Classical Test Theory – CTT) [1, 2] та сучасна теорія вимірювань (Item Response Theory – IRT) [3-5]. CTT виділяє три основні моделі тестів: паралельні, істотно τ -еквівалентні та однорідні. В рамках IRT існують моделі для тестів з дихотомічними завданнями (моделі Раша і Бірнбаума) та багатоваріантними завданнями (моделі Graded, Nominal, Partial Credit, Rating Scale).

Задача контролю навчальних досягнень студентів з певної дисципліни може бути успішно розв'язана шляхом автоматизації необхідних для її вирішення процесів. Теоретичні засади проведення тестування розглядаються у роботах [2, 6]. Існують приклади реалізації інформаційних систем (ІС) автоматизованого тестування, що використовуються у ВНЗ [7-9]. Їх аналіз показав, що мало уваги приділяється питанням оцінки якості тестів.

Метою дослідження є підвищення ефективності процесу оцінювання результатів навчання шляхом розробки інформаційної системи автоматизованого тестування знань (ІСАТЗ).

ІСАТЗ має забезпечувати розробку тестів, проведення тестування, обробку результатів тестування та оцінювання якості тестів. Згідно зі стандартом SWEBOOK [10] першим етапом створення ІС є збір та аналіз вимог. Програмні вимоги – це властивості програмного забезпечення, які повинні бути належним чином представлені в ньому для вирішення конкретних практичних завдань. Дана робота присвячена аналізу вимог до ІСАТЗ.

Специфікація вимог

ІСАТЗ може бути частиною або окремим програмним компонентом, що інтегрується з ІС ВНЗ. ІСАТЗ повинна забезпечувати створення тестів викладачами, проведення тестування, обробку його результатів та оцінку якості тестів (рис. 1). Дані відповідей на завдання тесту можуть надходити до системи в результаті проходження студентом тесту в режимі реального часу або шляхом їх введення до бази даних (БД) викладачем. Обробка результатів передбачає розрахунок оцінки знань студента з дисципліни на основі його відповідей на тестові завдання.

Для оцінки якості отриманих результатів необхідно брати до уваги надійність тесту. Надійність відображає точність тестових вимірювань та стійкість результатів до дій випадкових факторів. Розрахунок показника надійності тесту дасть змогу науково обґрунтувати використання тестового

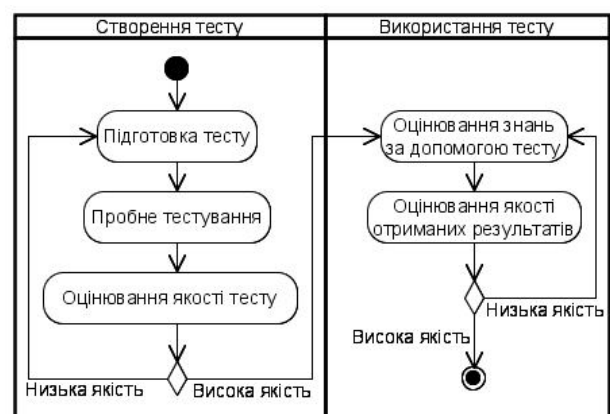


Рис. 1 Процес створення та використання тесту

методу для оцінювання знань та підтвердити достовірність отриманих результатів.

Користувачами системи є викладач, студент та адміністратор. Викладач складає тести, вводить результати проведеного тестування, розраховує оцінки рівня знань студентів та оцінки надійності тестів. Студент є виконавцем тесту. Адміністратор відповідальний за реєстрацію користувачів та супровід БД.

Основні функціональні вимоги до програмної системи з точки зору викладача, адміністратора та студента представлені у вигляді діаграм варіантів використання на рисунках 2, 3. Викладач є основним користувачем системи. Можна виділити наступні основні сценарії роботи викладача:

- складання тесту (рис. 4);
- введення результатів тестування (рис. 5);
- розрахунок оцінок рівня знань (рис. 6);
- розрахунок надійності тесту (рис. 7).

Передумовою наведених сценаріїв є той факт, що викладач є зареєстрованим користувачем та здійснив вхід у систему.

Особливістю процесу складання тесту є те, що викладач повинен задати шкалу оцінок для кожного завдання. Кожний варіант відповідей може оцінюватися у певну кількість балів відповідно до виду тестового завдання.



Рис. 2 Основні функції з точки зору викладача



Рис. 3 Основні функції з точки зору студента та адміністратора

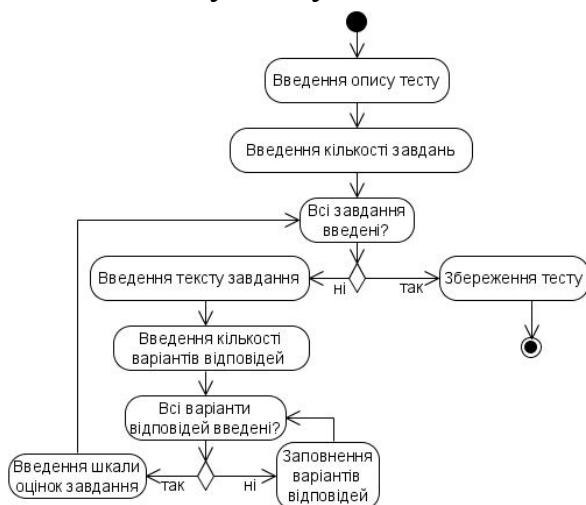


Рис. 4 Процес складання тесту

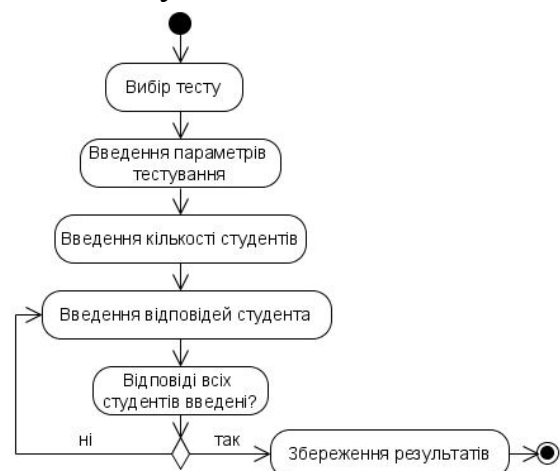


Рис. 5 Процес введення результатів тестування

У процесі введення результатів тестування до параметрів тестування належать група студентів та дата. Даний процес має місце, якщо виконання студентом тесту не автоматизоване і викладач вимушений вводити результати тестування. Однією з важливих задач, що потребує рішення при реалізації даного процесу, є зберігання та синхронізація особистих даних студентів, наприклад, їхніх прізвищ, приналежності до груп.

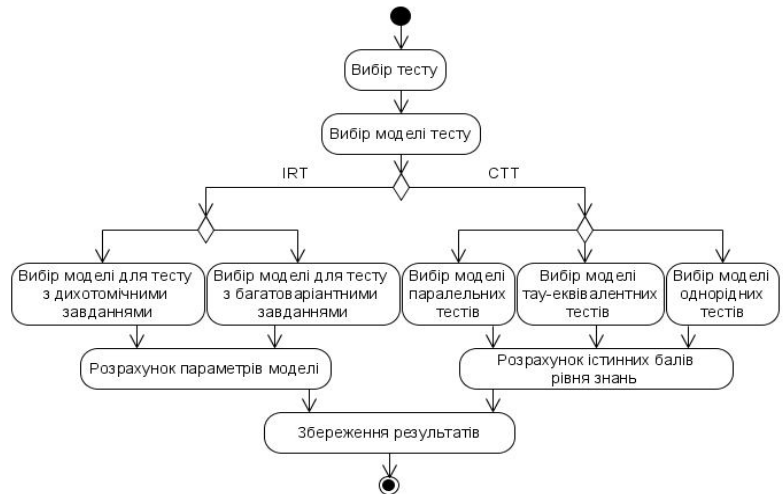


Рис. 6 Процес розрахунку оцінок рівня знань

Розрахунок оцінок рівня знань відбувається за обраною моделлю СТТ або ИРТ. Основною моделлю ИРТ є модель Раша [3]. Ця модель для тестів з дихотомічними завданнями визначає ймовірність правильної відповіді наступним чином:

$$P(X_{ij} = 1 | \theta_i, \beta_j) = f(1, \theta_i, \beta_j) = \frac{\exp(\theta_i - \beta_j)}{1 + \exp(\theta_i - \beta_j)},$$

де X_{ij} – відповідь студента i на завдання j (дорівнює 1, якщо – вірно, 0 – якщо невірно);

θ_i – латентна змінна рівня підготовленості студента i ;

β_j – латентна змінна складності завдання j .

Моделі СТТ базуються на основних припущеннях цієї теорії, до яких належать наступні [1]:

$$|Y_i = \tau_i + \varepsilon_i;$$

$$|Cov(\tau_i, \varepsilon_j) = 0;$$

$$|E(\varepsilon_i) = 0;$$

$$|Var(Y_i) = Var(\tau_i) + Var(\varepsilon_i);$$

$$|Rel = 1 - \frac{Var(\varepsilon_i)}{Var(Y_i)} \text{ або } Rel = \frac{Var(\tau_i)}{Var(Y_i)}.$$

Припущення 1 стверджує, що емпірично отриманий результат вимірювання (Y_i) представляє суму істинного результату вимірювання (τ_i) та похибки вимірювання (ε_i). Величини τ_i та ε_i невідомі. З припущення 4 про те, що дисперсія отриманих тестових балів дорівнює сумі дисперсій істинних та похибкових компонентів, витікає припущення 5 про оцінку надійності тесту.

Розрахунок оцінки надійності тесту, в першу чергу, вимагає вибору методу розрахунку. Серед них можна виділити наступні: ретестовий, метод паралельних форм, метод розщеплення, метод розрахунку надійності за внутрішньою узгодженістю тесту [2].

Припустимо, що дана система реалізує лише останні два з перелічених методів. Якщо обрано метод оцінки надійності за внутрішньою узгодженістю, то

система підтримує розрахунок коефіцієнтів Кронбаха або Кьюдера-Ричардсона KR20. коефіцієнт Кронбаха розраховується за формулою:

$$\alpha = \frac{m}{m-1} \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^m Var(Y_i)}{Var(S)} \right),$$

де m – кількість завдань в тесті;

$Var(Y_i)$ – дисперсія кожного завдання в тесті;

$Var(S)$ – дисперсія всього тесту.

Коефіцієнт KR20 [3] є окремим випадком коефіцієнта Кронбаха для дихотомічних завдань.

При виборі методу розщеплення необхідно визначити на скільки частин тест буде розщеплений та у який спосіб. Ділення в результаті дає тести, що відповідають моделі паралельних тестів. Згідно з методом розщеплення надійність кожної частини тесту дорівнює кореляції двох різних тестових оцінок Y_i та Y_j , що відповідає моделі паралельних тестів:

$Rel = Corr(Y_i, Y_j)$. Надійність всього тесту розраховується за формулою Спірмена-Брауна:

$$R = \frac{m \cdot Rel(Y_i)}{1 + (m-1) \cdot Rel(Y_i)},$$

де m – кількість паралельних тестів.

Крім функціональних вимог до ICAT3 можна висунути такі нефункціональні вимоги, як забезпечення зручності використання та здатності до перенесення.

Зручність використання є важливою, оскільки з програмною системою можуть працювати непідготовлені користувачі, що не володіють достатніми навичками роботи з комп'ютером та різним програмним забезпеченням.

Здатність до перенесення потрібна для того, щоб можна було використовувати ICAT3 на різних кафедрах в різних ВНЗ, де можуть розміщуватись комп'ютери з різними операційними системами та технічними характеристиками.

Також до нефункціональних вимог належить робота системи при навантаженні у сто одночасно працюючих користувачів. Це пояснюється тим, що в разі автоматизованого проведення тестування у ньому може брати участь одночасно кілька груп студентів.

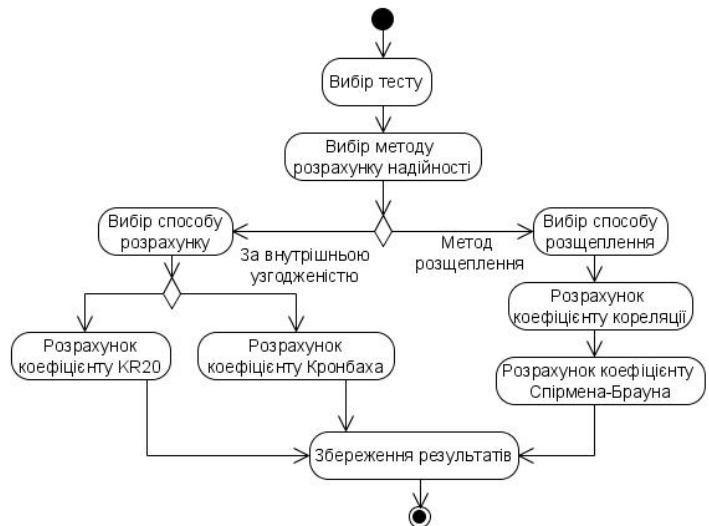


Рис. 7 Процес розрахунку оцінки надійності тесту

Висновки

Таким чином, у даній роботі поставлена задача створення інформаційної системи автоматизованого тестування знань. В результаті проведеного дослідження були сформульовані функціональні та не функціональні вимоги до програмної системи. До основних функціональних вимог належать створення тестів, проведення тестування, оцінка рівня знань та оцінка надійності тестів. До нефункціональних вимог належать зручність використання та здатність до перенесення.

Перспективою вирішення поставленої задачі є проектування, реалізація, тестування інформаційної системи та її апробація у навчальному процесі.

Список літератури: 1. *Steyer R.* Classical (Psychometric) Test Theory [Електронний ресурс] / Режим доступу : \www/ URL: / <http://metheval.uni-jena.de/materialien/publikationen/ctt.pdf/> — 01.08.2011 г. — Загл. с экрана. 2. *Челышкова, М. Б.* Теория и практика конструирования педагогических тестов: Учебное пособие [Текст] / М. Б. Челышкова. — М. : Логос, 2002. — 432 с. 3. *Wright, B.* Measurement Essentials. 2nd edition [Text] / B. Wright, M. Stone. — Wilmington, Delaware : Wide Range, Inc., 1999. — 221 p. 4. *Reeve B.* An Introduction to Modern Measurement Theory [Електронний ресурс] / Режим доступу : \www/ URL: / <http://moaweb.nl/bibliotheek/materiaal-bijeenkomsten-1/2009/pretesten-van-vragenlijsten-23-juni/> — 19.08.2011 г. — Загл. с экрана. 5. *Ким, В. С.* Тестирование учебных достижений. Монография. [Текст] / В. С. Ким. — Уссурийск : Издательство УГПИ, 2007. — 169 с. 6. *Майоров, А. Н.* Теория и практика создания тестов для системы образования (Как выбирать, создавать и использовать тесты для целей образования) [Текст] / А. Н. Майоров. — М. : Интеллект-центр, 2001. — 296 с. 7. Программа NetTest для компьютерного тестирования знаний в сети [Електронний ресурс] / Режим доступу : \www/ URL: / <http://kpolyakov.narod.ru/prog/nettest.htm>, 05.11.2011. 8. MyTest X – система программ для создания и проведения компьютерного тестирования, сбора и анализа их результатов [Електронний ресурс] / Режим доступу : \www/ URL: / <http://mytest.klyaksa.net>, 05.11.2011. 9. Компьютерная система тестирования знаний «OpenTEST» [Електронний ресурс] / Режим доступу : \www/ URL: / <http://opentest.com.ua/opentest-2-1-0-portable/#more-53>, 05.11.2011. 10. Программные требования (Software Requirements по SWEBOK) [Електронний ресурс] / Режим доступу : \www/ URL: / http://swebok.sorlik.ru/1_software_requirements.html, 10.11.2011.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 621.39

В.И.ТИХОНОВ, канд.техн.наук, доц., Одесская НАС им. А.С. Попова
Е.В.ТИХОНОВА, асп., Одесская НАС им. А.С. Попова

НОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФО-КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Сформульовано узагальнену модель взаємодії виділених об'єктів інфо-комунікаційної мережі у вигляді фракталу мережі для довільного типу продукту обміну. Проведено нормалізацію фрактальної моделі інформаційних потоків.

Ключові слова: Модель мережі, інформаційний потік, фрактал, нормалізація

Сформулирована обобщенная модель взаимодействия выделенных объектов инфо-коммуникационной сети в виде фрактала сети для произвольного типа продуктов обмена. Проведена нормализация фрактальной модели информационных потоков.

Ключевые слова: Модель сети, информационный поток, фрактал, нормализация

The unified object interaction model defined in form of the network fractal for arbitrary product type exchange in the info-communication network. The normalization provided for the information flow fractal model.

Keywords: Network model, information flow, fractal, normalization

Введение

Одним из направлений повышения качества обслуживания в инфо-коммуникационных сетях и системах является динамическая реконфигурация сетей и оптимальное управление сетевыми ресурсами на основе компьютерного моделирования сетей. В этой области используются такие известные методы, как теория графов [1] и сетей Петри [2], теория массового обслуживания [3], фрактальный анализ [4], искусственные нейронные сети [5] и др.

Перспективным подходом к управлению сетевыми ресурсами в сетях является применение тензорной методологии анализа и синтеза сетей [6]. Тензорные методы позволяют исследовать в общей модели совместно структурные и функциональные свойства сетей [7]. В работе [8] получена тензорная модель цифровых потоков, которая описывает взаимодействие объектов сети в комплексном пространстве состояний. В отличие от других тензорных моделей сети, она позволяет описать свойства анизотропии потоков в открытых сетях. Однако эта модель сформулирована в достаточно общем виде и требует дальнейшей конкретизации, в частности преобразования модели к нормализованному виду, удобному для расчетов на цифровых ЭВМ.

Целью данной работы является нормализация модели взаимодействия объектов инфо-коммуникационной сети для произвольного типа информационного продукта, передаваемого по сети.

1. Фрактал инфо-коммуникационной сети

Пусть в некоторой сети *Web* условно выделена сеть V , состоящая из множества X сетевых объектов $x_n \in X$, $n=1, 2, \dots, N$ (подсетей, серверов, узлов опорной сети, и т.п.) и системой телекоммуникации $\emptyset$, которая является *внутренним полем взаимодействия* для объектов множества X между собой и с *внешним полем* G , т.е. сетевым окружением сети V . Будем считать, что поле $\emptyset$ «открыто наружу» (т.е. имеет открытый канал связи с *внешним полем* G) и «открыто вовнутрь», т.е. имеет свое собственное локальное сетевое окружение, в которое не входят объекты множества X .

Объединим множество X с полем $\emptyset$ во множество $X = X \cup \emptyset$. Поле $\emptyset$ назовем *открытым пустым элементом* множества X , а само множество X назовем *связным замкнуто-открытым множеством*. Множество X замкнуто в том смысле, что оно «имеет оболочку», т.е. все объекты $x_n \in X$ множества $X = X$ изолированы от прямого контакта с *внешним полем* G ; в то же время, множество X открыто в том смысле, что в оболочке множества X имеется канал взаимодействия внутреннего поля $\emptyset \in X$ с *внешним полем* G .

Объекты $x_n \in X$ множества X и поле $\emptyset$ будем считать *частицами* объединенного множества X , и сохраним для них обозначение x_n , полагая, что

индекс n для частиц x_n изменяется в диапазоне от 0 до N : $x_n \in X$, $n=0, 1, \dots, N$. Объекты $x_n \in X$, а также множество X будем считать «открытыми вовнутрь», в том смысле, что каждый объект $x_n \in X$ может быть представлен в виде связанного замкнуто-открытого множества X^{-1} ниже лежащего уровня иерархии. Множество X может быть представлено как открытый вовнутрь объект множества X^{+1} вышележащего уровня иерархии.

Таким образом, сеть V снаружи выглядит как открытый вовнутрь объект множества X^{+1} , а изнутри сеть V выглядит как связанное замкнуто-открытое множество X , в котором имеется открытый пустой элемент $\emptyset$ (соединяющий все объекты $x_n \in X$, $n=1, 2, \dots, N$ в целостную связную сеть и обеспечивающий открытость множества X по отношению к внешнему полю G). Множество X , состоящее из $N+1$ частиц $x_n \in X$, $n=0, 1, \dots, N$, обладающее указанными выше свойствами, будем рассматривать как типовой структурный сегмент многоуровневой иерархической инфо-коммуникационной сети. Это множество назовем *фракталом инфо-коммуникационной сети*, или просто *фракталом* (обозначим его F).

Сложная инфо-коммуникационная сеть может быть представлена как объединение фракталов различных уровней иерархии, каждый из которых может иметь внутреннюю структуру. На рис.1 показан фрактал сети V для случая $N=2$. Открытость вовнутрь всех трех частиц множества X обозначена пунктирной окружностью вокруг каждой частицы. Открытость наружу частицы $x_0 = \emptyset$ обозначена открытым каналом связи во внешнее поле G .

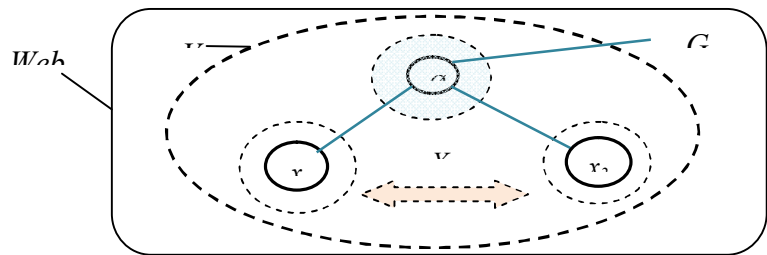


Рис. 1. Фрактал сети V из трех частиц

Связность сети V обозначена двумя *обязательными* симметрическими связями объектов x_1 и x_2 с элементом $\emptyset$. Эти связи назовем *слабыми* (или *топологическими*) *связями*. Объекты $x_n \in X$ также могут иметь (симметричные и/или асимметричные) прямые связи, показанные двусторонней пунктирной стрелкой; эти связи назовем *сильными*, или *структурными связями*.

2. Структура таблицы потоков для фрактала сети

Будем полагать, что взаимодействие между всеми частицами $x_n \in X$, $n=0, 1, \dots, N$ фрактала F осуществляется путем обмена структурными единицами Δe информационного продукта e . Продукт e назовем *абстрактной энергией*, а единицы Δe – *квантами действия*, или просто *квантами*. В зависимости от постановки задачи моделирования инфо-коммуникационной сети, в качестве квантов Δe могут быть выбраны: бит, байт, кадр, пакет, сегмент данных, сообщение, файл, и др.

Как показано в [9], фрактал с отсутствующими сильными (т.е. прямыми) связями между объектами $x_n \in X$, $n=1, 2, \dots, N$ является *дискретным топологическим пространством* (т.е. пространством с *тривиальной топологией*). Для конкретизации обобщенной фрактальной модели сети необходимо

количественно описать все возможные информационные связи между частицами $x_n \in X$, $n=0, 1, \dots, N$ фрактала, т.е. определить конкретную (нетривиальную) топологию и метрику фрактала.

Предположим, что внутри сети *Web* в течение некоторого интервала наблюдения *T* (час, сутки, неделя и т.п.) проведен эксперимент по регистрации квантов действия между различными сущностями сети *Web*. В результате эксперимента определена обобщенная модель инфо-коммуникационной сети *V* в виде фрактала этой сети *F*, т.е. идентифицировано множество *X* частиц фрактала *F* и построена таблица $F(n, m)$ потоков обмена квантами Δe между частицами фрактала. Таблица $F(n, m)$ описывает топологию и метрику фрактала *F*, поэтому обозначим ее тем

же символом, что и фрактал, т.е. *F*.

Структура

таблицы *F* для $N=2$ показана рис.2.

$$F(n, m) =$$

m	0	1	2
n			
0	$\emptyset \leftarrow G$	$x_1 \rightarrow \emptyset$	$x_2 \rightarrow \emptyset$
	$\emptyset \rightarrow G$		

Рис. 2. Структура таблицы потоков для фрактала *F* при $N=2$

Каждая пара диагональных элементов таблицы *F* количественно описывает взаимодействие частиц фрактала с внешним полем *G*. Левый элемент пары $F(n, n)$ – это количество продукта $\bar{e}_n$ (выраженное в единицах Δe), принятое («поглощенное») частицей $x_n \in X$, $n=0, 1, \dots, N$ из внешнего поля *G* за время наблюдения *T*. Аналогично, правый элемент пары $F(n, n)$ – это количество продукта $\bar{e}_n$ в единицах Δe , направленное (излученное) частицей $x_n \in X$, $n=0, 1, \dots, N$ во внешнее поле *G*.

Каждая пара недиагональных элементов таблицы потоков *F* описывает взаимодействие между частицами фрактала. Все недиагональные пары элементов нулевой строки и нулевого столбца таблицы *F* – это взаимодействия объектов $x_n \in X$, $n=1, 2, \dots, N$ с частицей $x_0=\emptyset$, т.е. с внутренним полем. По отношению к выделенной инфо-коммуникационной сети *V*, частица $x_0=\emptyset$ играет роль телекоммуникационной составляющей сети *V*, а множество объектов $x_n \in X$, $n=1, 2, \dots, N$ играет роль информационной составляющей сети *V*. Таким образом, недиагональные пары элементов нулевой строки и нулевого столбца таблицы потоков *F* описывают взаимодействия информационных объектов сети *V* с сегментом телекоммуникационной сети, включенным в состав сети *V*. Такое взаимодействие, как правило, является служебной и/или технологической составляющей общих потоков сети.

Недиагональные пары элементов $F(n, n)$, $n=1, 2, \dots, N$ таблицы *F*, не принадлежащие нулевой строке и/или нулевому столбцу таблицы потоков *F*, описывают прямые взаимодействия объектов $x_n \in X$, $n=1, 2, \dots, N$ между собой. Эти взаимодействия выше были названы сильными взаимодействиями. Они определяют конкретную топологию и метрику подпространства, определенного на множестве *X*.

3. Нормировка таблицы потоков для фрактала сети

Условимся, что за время наблюдения T в сети V было зарегистрировано L пар квантов действия Δe . Обозначим $\Delta e = 2 \cdot \Delta e$ квант взаимодействия для одной пары квантов действия Δe . Назовем величину $E = L \cdot \Delta e$ полной энергией фрактала F как модели взаимодействия объектов в сети V . Средняя мощность p сети V есть функция

$$p = E/T = 2 \cdot L \cdot \Delta e / T = 2 \cdot \Delta e \cdot (L/T) = 2 \cdot \Delta e \cdot \nu, \quad (1)$$

где $\nu = L/T$ – средняя частота появления пар квантов действия Δe в сети V за время T .

Введем нормировочную константу взаимодействия h таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$E = 2 \cdot L \cdot \Delta e = h \cdot \nu. \quad (2)$$

$$\text{Отсюда} \quad h = 2 \cdot \Delta e \cdot T = \Delta e \cdot T. \quad (3)$$

Для формализации обобщенной фрактальной модели взаимодействия объектов в сети V выделим некоторую часть ε_0 полной энергии E , которую назовем *связанной энергией* фрактала. Оставшуюся часть $\varepsilon = E - \varepsilon_0$ назовем *свободной энергией* фрактала. Будем считать, что энергия ε_0 определяет минимальный уровень связности всех частиц фрактала (между собой, а также с внешним полем G), при котором фрактал сохраняет свою целостность и не распадается на отдельные части. Свободная энергия ε может распределяться между различными частицами, изменяя уровень связности частиц во фрактале.

Примем следующую аксиому о связанной энергии: связанная энергия ε_0 равномерно распределена между всеми элементами нулевой строки и нулевого столбца в таблице потоков $F(n, m)$, а величина связанной энергии равна

$$\varepsilon_0 = [2 \cdot (N+1)] \cdot \Delta e = (N+1) \cdot \Delta e. \quad (4)$$

Построим таблицу распределения квантов действия Δe для фрактала F , имеющего $N+1$ частиц $x_n \in X$, $n=0, 1, \dots, N$, рис.3. Для простоты далее будем полагать, что все элементы в таблице потоков $F(n, m)$ записаны в единицах Δe (т.е. в квантах действия). Из аксиомы связанной энергии следует, что каждый элемент нулевой строки и нулевого столбца в таблице потоков $F(n, m)$ должен содержать хотя бы одну единицу связанной энергии ε_0 (т.е. один квант действия Δe), рис. 3.

$F(n, m) =$	m	0		1		2	
	n						
	0	1	1	1		1	
	1	1		3	3	2	
	2	1		2		1	1

$= \Phi(n, m)$

Рис. 3. Пример распределение энергий ε_0 и ε в таблице потоков F при $N=2$

Элементы таблицы $F(n, m)$ с ненулевыми индексами n и m образуют вложенную в F таблицу $\Phi(n, m)$, $n, m=1, 2, \dots, N$. Общее количество диагональных клеток в таблице Φ равно $2 \cdot N$; количество недиагональных клеток равно $N \cdot (N-1)$; количество всех клеток таблицы Φ равно $N \cdot (N+1)$. Выберем величину кванта действия Δe таким образом, чтобы свободная энергия ε оказалась равной

$$\varepsilon = [2 \cdot N \cdot (N-1) \cdot (N+1)] \cdot \Delta e = N \cdot (N-1) \cdot (N+1) \cdot \Delta e. \quad (5)$$

Если энергия ε равномерно распределена в диагональных клетках таблицы Φ , то в каждой диагональной клетке будет по $(N-1) \cdot (N+1)$ квантов $\Delta\varepsilon$; в недиагональных клетках – по $2 \cdot (N+1)$ квантов $\Delta\varepsilon$; во всех клетках таблицы Φ – по $2 \cdot (N-1)$ квантов $\Delta\varepsilon$. Таким образом, выбранная нами нормировка (5) таблицы потоков $F(n, m)$ дает возможность равномерно и симметрично распределить всю свободную энергию ε на диагонали вложенной таблицы Φ , вне диагонали этой таблицы и во всех клетках таблицы Φ .

Полная энергия взаимодействия для фрактала F равна сумме вида

$$E = \varepsilon_0 + \varepsilon = [2 \cdot (N+1) + 2 \cdot N \cdot (N-1) \cdot (N+1)] \cdot \Delta\varepsilon = 2 \cdot (1+N^3) \cdot \Delta\varepsilon \quad (6)$$

В частности, при $N=2$ имеем: $\varepsilon_0 = 6 \cdot \Delta\varepsilon = 3 \cdot \Delta\varepsilon$; $\varepsilon = 12 \cdot \Delta\varepsilon = 6 \cdot \Delta\varepsilon$; $E = 18 \cdot \Delta\varepsilon = 9 \cdot \Delta\varepsilon$. Из (6) получим константу h :

$$h = \frac{E}{\nu} = \frac{\Delta\varepsilon}{\nu} \cdot 2 \cdot (1+N^3) = \frac{\Delta\varepsilon}{\nu} \cdot (1+N^3). \quad (7)$$

Примем аксиому свободной энергии фрактала: *Свободная энергия ε фрактала F распределяется таким образом, что в одну клетку таблицы потоков F может быть распределено не более половины всей свободной энергии ε .*

Из аксиомы свободной энергии следуют свойства:

Свойство 1. Если свободная энергия фрактала ε локализована в одной паре клеток таблицы $F(n, m)$, расположенных симметрично относительно главной диагонали таблицы F , то свободная энергия ε распределяется поровну в каждую из этих клеток (т.е. по $\varepsilon/2$).

Свойство 2. Максимально возможная энергия в одной клетке таблицы $F(n, m)$ равна $1 + \varepsilon/2$ (если клетка находится в нулевой строке или нулевом столбце таблицы F) и равна $\varepsilon/2$ (если клетка находится в ненулевой строке и ненулевом столбце таблицы F); отсюда возможное число квантов действия $\Delta\varepsilon$ в одной клетке таблицы $F(n, m)$ равно $(\Delta\varepsilon + \varepsilon/2)/\Delta\varepsilon = 1 + \varepsilon/(2 \cdot \Delta\varepsilon) = 1 + \varepsilon/\Delta\varepsilon$ (если клетка находится в нулевой строке или нулевом столбце таблицы F) и $(\varepsilon/2)/\Delta\varepsilon = \varepsilon/(2 \cdot \Delta\varepsilon) = \varepsilon/\Delta\varepsilon$ (для ненулевой строки и ненулевого столбца).

Примем аксиому четности распределения энергии фрактала:

Общее количество квантов действия для каждой пары симметричных элементов должно всегда оставаться четным числом.

Рассмотрим некоторые топологические свойства фрактала F . Как отмечено выше, связанная энергия ε_0 обеспечивает фракталу топологическую структуру с минимальной степенью связности частиц; эта связность осуществляется через посредство внутреннего поля $\emptyset$. Распределение свободной энергии ε определяет многообразие топологических типов и свойств фрактала. Рассмотрим некоторые частные случаи распределений свободной энергии ε в таблице потоков $F(n, m)$ фрактала F .

1) Свободная энергия ε равномерно и симметрично распределена между всеми диагональными элементами вложенной таблицы Φ , рис. 4. Данное распределение означает, что частицы x_1 и x_2 фрактала F сильно взаимодействуют с внешним полем G , однако между собой не имеют взаимодействия. Этот структурный тип фрактала в известной мере соответствует понятию «*дискретное топологическое пространство*» в классической топологии на множествах (обозначим его коротко *DTS* – Discrete Topological Space) [10].

$$F(n, m) =$$

m	0	1	2
n			
0	1	1	1
1	1	3	0
2	1	0	3

$$= \Phi(n, m)$$

Рис. 4. Симметричная глобальная дискретная топология фрактала

2) Свободная энергия ε равномерно и симметрично распределена между недиагональными элементами нулевой строки и нулевого столбца таблицы F (кроме двух элементов с индексами $n=0$ и $m=0$, в которых имеются по одному кванту $\Delta\varepsilon$ связанной энергии ε_0), рис. 5.

$$F(n, m) =$$

m	0	1	2
n			
0	1	4	4
1	4	0	0
2	4	0	0

$$= \Phi(n, m)$$

Рис. 5. Симметричная локальная дискретная топология фрактала

Распределение свободной энергии на рис.5 также близко по смыслу к известному понятию DTS, поскольку частицы x_1 и x_2 фрактала F не имеют взаимодействия между собой, но сильно взаимодействуют с внутренним полем $\emptyset$. Таким образом, фрактал F может иметь две симметричные топологии, близкие по смыслу к DTS, отличающиеся между собой тем, что в первом случае частицы x_1 и x_2 фрактала F сильно связаны с внешним полем G (рис.4), а во втором – с внутренним полем $\emptyset$ (рис.5). Обозначим эти две топологии соответственно как *симметричная глобальная дискретная (SGD)* и *симметричная локальная дискретная (SLD)* топологии фрактала.

Дискретные топологии SGD и SLD являются вырожденными (тривиальными) структурами фрактала. Еще одна (противоположная по смыслу) тривиальная структура фрактала представлена на рис. 6.

$$F(n, m) =$$

m	0	1	2
n			
0	1	1	1
1	1	0	6
2	1	6	0

$$= \Phi(n, m)$$

Рис. 6. Симметричная анти-дискретная топология

Как известно из классической топологии [11], на множестве элементов $\emptyset, x_1, x_2$ можно определить только две топологии, которые обе являются тривиальными (одна дискретная, а вторая – анти-дискретная, или примитивная). На аналогичном множестве частиц фрактала можно определить значительно большее число тривиальных топологий, например: симметричная анти-дискретная топология (рис.6), симметричные дискретные топологии (рис.7). Некоторым из симметричных дискретных топологий на рис.7 можно поставить в соответствие различные асимметричные дискретные топологии. Фрактал из трех частиц $\emptyset, x_1, x_2$ допускает несколько нетривиальных топологий (например, на рис.3). Если $N > 2$, то фрактал допускает различные асимметричные анти-дискретные топологии.

1	1	1	1
1	3	3	0
1	0	3	3

1	1	1	1
1	6	6	0
1	0	0	0

1	1	1	1
1	0	0	0
1	0	6	6

1	1	4	4
4	0	0	0
4	0	0	0

1	1	7	1
7	0	0	0
1	0	0	0

1	1	1	7
1	0	0	0
7	0	0	0

Рис. 7. Симметричные дискретные топологии фрактала при $N=2$

Из приведенных рассуждений видно, что метрика и топология фрактала F определяются характером распределения квантов взаимодействия $\Delta\varepsilon=2\cdot\Delta e$ свободной энергии ε между отдельными клетками таблицы потоков F . Минимальное изменение фрактала определяется перестановкой любой пары квантов действия $2\cdot\Delta e$ в таблице потоков F . Это значит, что у одной пары симметричных элементов таблицы F изымается пара квантов действия $2\cdot\Delta e$ свободной энергии ε , а некоторой другой паре симметричных элементов таблицы F добавляется пара квантов $2\cdot\Delta e$ симметричным или асимметричным способом. Такое изменение может выполняться и для самой пары элементов (пара квантов действия $2\cdot\Delta e$ перераспределяется внутри пары элементов). При этом общее количество свободной энергии ε и полной энергии E во фрактале F остается неизменным.

Согласно аксиоме четности, общее количество квантов действия для каждой пары симметричных элементов должно всегда оставаться четным числом. Назовем такое изменение фрактала *квантом работы* Δw . Квант работы будем считать количественно равным кванту энергии взаимодействия, т.е. $\Delta w=\Delta\varepsilon=2\cdot\Delta e$. Последовательное преобразование топологии и метрики фрактала F квантами работы Δw назовем *непрерывным преобразованием фрактала*. В отличие от стандартного анализа, понятие непрерывности преобразований объекта типа «фрактал» не требует сохранения топологической структуры объекта. Так, например, цепочка непрерывных преобразований может перевести любой фрактал в состояние, при котором частицы $x_n \in \bar{X}$, $n=1, 2, \dots, N$ «почти исчезают», т.е. свободная энергия взаимодействия ε полностью переходит в энергию взаимодействия внутреннего поля $\emptyset$ с внешним полем G . При этом частицы $x_n \in \bar{X}$, $n=1, 2, \dots, N$ остаются различимыми на минимальном уровне энергии взаимодействия этих частиц с внутренним полем $\emptyset$ (каждая частица $x_n \in \bar{X}$, $n=1, 2, \dots, N$ имеет энергию взаимодействия $\Delta\varepsilon=2\cdot\Delta e$).

Вывод

В работе получена обобщенная фрактальная модель взаимодействия объектов инфо-коммуникационной сети для произвольного типа квантованного информационного продукта обмена. Для фрактала сети построена нормализованная таблица информационных потоков. Определены некоторые типовые топологии для фрактала сети. Нормализованная фрактальная модель может быть использована для построения комплексного тензора взаимодействия объектов инфо-коммуникационной сети, описанного в [9].

Список литературы: 1.Свами М. Графы, сети и алгоритмы / М. Свами, К. Тхуласираман. – М.: Мир, 1984.– 455с. 2. Зайцев Д.А. Синтез моделей Петри телекоммуникационных протоколов / Д.А.Зайцев // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова. – 2005. – №2. – С.36-42. 3.Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями / Клейнрок Л. – М.: Мир, 1979. –600 с. 4.Фрактальный анализ и процессы в компьютерных сетях : учеб. пособие / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, О.Г. Иванова, А.В. Лагутин, В.М. Тютюнник. – 2-е изд. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 108 с. 5.A Brief Introduction to Neural Networks. David Kriesel. – Режим доступа:http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks 6.Петров А.Е. Тензорный метод Крона, LT метод Бартини-Кузнецова и двойственные сети / А.Е.Петров // Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление». – 2010. – том 6, №4 (9), ст. 2. – С. 13-32. 7.Лемешко О.В. Теоретичні основи управління мережними ресурсами з використанням тензорних математичних моделей телекомунікаційних систем: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. докт. техн.наук / Лемешко Олександр Віталійович. – Харків, 2005. – 37 с. 8.Тихонов В.И. Построение тензорной модели асимметричных цифровых потоков в комплексном пространстве [Электронный ресурс] // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 2 (4). – С. 42 – 53. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2011/2/1/112_tikhonov_tensor.pdf 9.Тихонов В.И. Фрактальная топологическая модель открытой телекоммуникационной сети / В.И.Тихонов // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова. – 2010. – №1. – С.49-58. 10.Kuratowski K. Set theory / K. Kuratowski, A. Mostowski. – Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1976. – 416 p. 11.Дж.Келли. Общая топология / Дж.Келли. – М.:Наука, 1968. – 384 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 004.91:004.8

Е.В. БОДЯНСКИЙ, докт.техн.наук, проф., ХНУРЭ, Харьков

Н.В. РЯБОВА, канд.техн.наук, зав. каф., ХНУРЭ, Харьков

О.В. ЗОЛОТУХИН, асп., ХНУРЭ, Харьков

ОБРАБОТКА ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНОГО НЕЧЕТКОГО ОБУЧАЕМОГО ВЕКТОРНОГО КВАНТОВАНИЯ

Рассматривается проблема интеллектуальной обработки текстов. Представлена архитектура нейро-фаззи системы для классификации текстовых документов и on-line алгоритм обучения сети адаптивного нечеткого векторного квантования.

Ключевые слова: текстовый документ, нечеткая классификация, AFLVQ

Розглядається проблема інтелектуальної обробки текстів. Представлена архітектура нейронечіткої системи для класифікації текстових документів та on-line алгоритм навчання мережі адаптивного нечіткого векторного квантування.

Ключові слова: текстовий документ, нечітка класифікація, AFLVQ

This article discusses a problem of an intelligent text processing. Architecture of the neuro-fuzzy system is presented for classification of text documents and on-line learning algorithm for fuzzy network adaptive vector quantization.

Keywords: text document, fuzzy classification, AFLVQ

1.Введение

Обработка текстовых документов, по сути, включает в себя комплекс взаимосвязанных задач, направленных на представление текстов в виде, пригодном для их использования компьютерными программами. Одной из

важных задач в этом комплексе является классификация, т.е. отнесение текстовых документов к заранее определенным классам. На сегодняшний день классификация текстов считается достаточно сложной проблемой, как в научном, так и в прикладном аспектах. Важность классификации набора взаимосвязанных текстовых документов неуклонно приобретает все большее значение, учитывая тот фактор, что большая часть информации в Интернет-пространстве представлена в текстовом виде. При этом Web-документы, подлежащие обработке, зачастую характеризуются разнородностью, широким охватом сразу нескольких тем, т.е. политематичностью. При наличии политематических текстов и большого количества классов задача становится значительно сложнее. Заметим также, что современные текстовые базы данных являются политематическими, с большим количеством категорий, что значительно усложняет задачу классификации.

Учитывая постоянно возрастающие объемы доступной информации в текстовом виде и связанную с этим проблему смыслового поиска, актуальность разработки методов и моделей автоматической классификации текстовых документов различного типа чрезвычайно высока.

В данной работе представлена нейронная сеть адаптивного нечеткого обучаемого векторного квантования для решения задачи классификации политематических текстовых документов. Проведены теоретические исследования для сравнения предлагаемого нами классификатора и других, хорошо известных из литературы, которые были специально разработаны для решения такого рода проблем. В связи с полученными результатами показано, что предлагаемый подход превосходит другие классификаторы и является более быстрым, чем вероятностные нейронные сети.

Классификация текстовых документов рассматривается как один из возможных вариантов решения проблемы использования информационных ресурсов. Коротко она характеризуется следующим образом. К настоящему моменту различными хранилищами знаний накоплены огромные информационные массивы. Однако, отсутствие возможности получить наиболее актуальную и полную информацию по конкретной теме делает бесполезной большую часть накопленных ресурсов. Поскольку исследование конкретной задачи требует все больших трудозатрат на непосредственный поиск и анализ информации по теме, многие решения принимаются на основе неполного представления о проблеме.

Использование классификаторов позволяет сократить трудозатраты на поиск нужной информации, представленной электронными текстами, а использование искусственных нейронных сетей упрощает процедуру построения классификатора.

1. Интеллектуальная обработка текстов.

Большинство существующих систем, работающих с документами, представляют собой электронный вариант архива документов со стандартным набором технических средств: удобный ввод-вывод, поддержка большого количества форматов, надёжное хранение, система ограничений прав доступа и т.п. Однако часто это оказывается недостаточным для современных

информационных систем: во-первых, постоянный рост потока документов приводит к тому, что многие документы не доходят до фактического адресата, т.е. до тех, кто заинтересован в получении данного документа; во-вторых, в постоянно разрастающемся архиве становится трудно (практически невозможно) найти нужные документы. Актуальность задачи интеллектуальной обработки документов, в частности, состоит в преодолении этих проблем. Современные классификаторы документов должны решать задачу, связанную с управлением потоком входящих документов в режиме реального времени, – их автоматическую классификацию и последующий поиск в нем документов по содержанию.

С позиций Text Mining – это задача классификации, когда каждый документ может быть отнесен к одному из априори заданных классов, при этом предполагается, что априори задана обучающая выборка с известной классификацией, на основании которой формируются границы между этими классами. Классические методы распознавания образов в этой задаче малоэффективны, поскольку их использование связано с гипотезой компактности и линейной разделимости классов. Для построения нелинейной разделяющей гиперповерхности между разными классами текстовых документов с успехом могут быть использованы искусственные нейронные сети (ИНС) [1-4], при этом предпочтение, естественно, отдается ИНС, обучение которых может производиться в on-line режиме, когда тексты на обработку поступают последовательно одним за одним. Задача существенно усложняется, когда один и тот же документ с различными уровнями принадлежности может одновременно относиться сразу к нескольким классам. В данной ситуации наиболее эффективными представляются методы нечеткой (фаззи) классификации [5], предназначенные для обработки данных, однозначная классификация которых в принципе невозможна.

В настоящей работе предлагается архитектура и on-line алгоритм обучения нейро-фаззи системы, предназначенные для последовательной обработки текстовых документов в условиях перекрывающихся классов.

2. Адаптивная нечеткая нейронная сеть обучаемого векторного квантования

В основу предлагаемой системы положена искусственная нейронная сеть обучаемого векторного квантования (LVQ) [6,7], имеющая крайне простую однослойную архитектуру, настройка семантических весов которой производится в режиме обучения с учителем с элементами конкуренции по типу «победитель получает все» (WTA). Основными преимуществами этой ИНС по сравнению с другими нейросистемами является простота архитектуры, незначительное количество входящих в нее нейронов, малый объем обучающей выборки и возможность on-line обучения [1], что крайне важно в задачах обработки текстовых документов. К настоящему времени известно множество вариантов LVQ-нейросетей [8-13], отличающихся выбором параметра шага обучения, используемой метрикой, необходимым объемом обучающей выборки. Эти системы подтвердили свою эффективность во многих приложениях, связанных с четкой классификацией и распознаванием образов.

Для решения задач нечеткой классификации в условиях пересекающихся классов был введен целый ряд модификаций LVQ-систем. Так, в [5] было введено нечеткое обучаемое векторное квантование FLVQ, представляющее собой по сути гибрид метода нечетких С-средних (FCM) и LVQ-сети и предназначенное для работы только в пакетном режиме. В [14] были предложены нечеткие алгоритмы обучаемого векторного квантования (FALVQ), в которых с каждым вектором-прототипом класса связывается та или иная функция принадлежности, определяющая подобие каждого прототипа с предъявляемым вектором-образом. Можно отметить громоздкость этого подхода и субъективизм при выборе конкретной функции принадлежности. В [15] введено нечеткое мягкое векторное квантование (FSLVQ), основанное на использовании мягкой конкуренции, ядерных функций соседства-принадлежности и, опять-таки, пакетной обработки данных. Весьма перспективным представляется подход, предложенный в [16] и представляющий собой гибрид нейронных сетей адаптивного резонанса (ART) и обучаемого векторного квантования. Данная система предназначена для работы в on-line режиме, однако весьма громоздка с вычислительной точки зрения.

Архитектура предлагаемой нами нейро-фаззи системы адаптивного обучаемого векторного квантования (AFLVQ) приведена на рис.

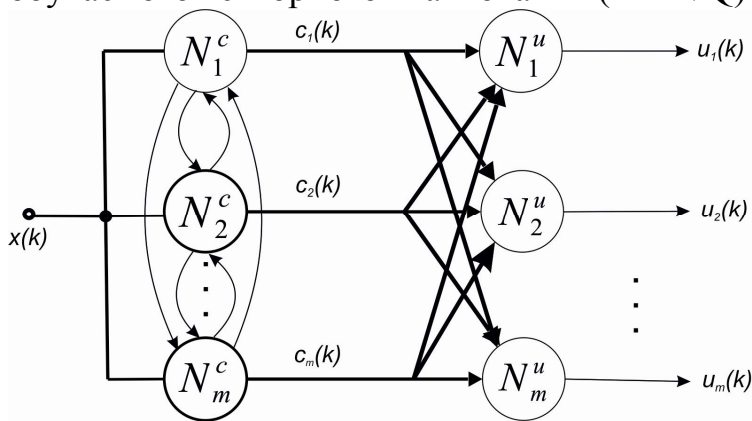


Рис. Нейронная сеть адаптивного нечеткого обучаемого векторного квантования (AFLVQ)

Система содержит два слоя обработки информации, при этом нейроны первого скрытого слоя связаны между собой латеральными связями, с помощью которых реализуются процессы конкуренции.

Исходной информацией для обучения является последовательность векторов-образов

$x(1), x(2), \dots, x(k), \dots, x(N), \dots$; где $x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))^T \in R^n$ с известной классификацией, при этом входные сигналы предварительно нормируются так, что $\|x(k)\| = 1$. Нейроны первого скрытого слоя N_j^c ($j = 1, 2, \dots, m$; m - априори задаваемое количество возможных классов) предназначены для нахождения прототипов (центроидов) классов $c_j(k) = (c_{j1}(k), c_{j2}(k), \dots, c_{jn}(k))^T$, при этом компоненты $c_{ji}(k)$ являются по сути настраиваемыми синаптическими весами нейрона N_j^c . Нейроны выходного слоя N_j^u вычисляют уровни принадлежности $u_j(k)$ предъявленного образа $x(k)$ к j -ому классу.

Итак, при подаче на вход системы образа $x(k)$ в процессе конкуренции определяется нейрон-победитель j^* , синаптические веса которого $c_{j^*}(k-1)$ в смысле принятой метрики (в нашем случае евклидовой) наиболее близки к входному сигналу, т.е.

$$j^* = \arg \min_j D(x(k), c_j(k-1)) = \arg \min_j \|x(k) - c_j(k-1)\|^2 = \arg \max_j x^T(k) c_j(k-1) = \\ = \arg \max_j \cos(x(k), c_j(k-1)),$$

при этом очевидно, что

$$-1 \leq \cos(x(k), c_j(k-1)) = x^T(k) c_j(k-1) \leq 1, \quad (1)$$

а

$$0 \leq \|x(k) - c_j(k-1)\|^2 \leq 4.$$

Поскольку обучение является контролируемым, то принадлежность вектора $x(k)$ к конкретному классу известна, что позволяет рассмотреть две возможные ситуации, возникающие в обучаемом векторном квантовании:

— входной вектор $x(k)$ и нейрон-победитель $N_{j^*}^c$ принадлежат одному классу;

— входной вектор $x(k)$ и нейрон-победитель $N_{j^*}^c$ принадлежат разным классам.

Тогда стандартное LVQ-правило обучения может быть записано в виде

$$c_j(k) = \begin{cases} c_{j^*}(k-1) + \eta(k)(x(k) - c_{j^*}(k-1)) & \text{если } x(k) \text{ и } c_{j^*}(k-1) \text{ принадлежат одному классу,} \\ c_{j^*}(k-1) - \eta(k)(x(k) - c_{j^*}(k-1)) & \text{если } x(k) \text{ и } c_{j^*}(k-1) \text{ принадлежат разным классам,} \\ c_j(k-1) & \text{если } j\text{-ый нейрон не победил.} \end{cases} \quad (2)$$

Правило обучения (2) имеет ясный физический смысл: если нейрон-победитель и предъявленный образ относятся к одному классу, то прототип $c_{j^*}(k-1)$ отталкивается от $x(k)$, увеличивая тем самым расстояние $D(x(k), c_{j^*}(k-1))$.

Что касается выбора величины шага обучения $\eta(k)$, то общая рекомендация сводится к тому, что он должен монотонно уменьшаться в процессе настройки. В [17] была доказана асимптотическая сходимость процесса обучаемого векторного квантования в предположении, что параметр $\eta(k)$ изменяется в соответствии с условиями стохастической аппроксимации Дворецкого. Понятно, что в этом случае процесс обучения протекает слишком медленно. В [11] для вычисления шага поиска была предложена процедура

$$\eta(k) = r^{-1}(k), \quad r(k) = \alpha r(k-1) + \|x(k)\|^2 = \alpha r(k-1) + 1, \quad 0 \leq \alpha \leq 1,$$

при этом при $\alpha = 1$ параметр шага $\eta(k) = k^{-1}$, т.е. удовлетворяет условиям Дворецкого. Варьируя фактором забывания α , несложно обеспечить достаточно широкий интервал изменения шага поиска

$$\frac{1}{k} \leq \eta(k) < 1,$$

при этом $\alpha < 1$ обеспечивает LVQ-процедуре следующие свойства, необходимые в случае, если центры классов дрейфуют во времени.

Отметим также, что нормирование входящих сигналов $x(k)$ вовсе не гарантирует того, что прототипы классов будут отвечать условию $\|c_j(k)\| = 1$, а его невыполнение делает невозможным в качестве оценки расстояния использование скалярного произведения (1). Обойти данное затруднение несложно, введя

дополнительное нормирование синаптических весов в процессе обучения. В результате приходим к адаптивной процедуре вида

$$c_j(k) = \begin{cases} \frac{c_{j*}(k-1) + \eta(k)(x(k) - c_{j*}(k-1))}{\|c_{j*}(k-1) + \eta(k)(x(k) - c_{j*}(k-1))\|} & \text{— если } x(k) \text{ и } c_{j*}(k-1) \text{ принадлежат одному классу,} \\ \frac{c_{j*}(k-1) - \eta(k)(x(k) - c_{j*}(k-1))}{\|c_{j*}(k-1) - \eta(k)(x(k) - c_{j*}(k-1))\|} & \text{— если } x(k) \text{ и } c_{j*}(k-1) \text{ принадлежат разным классам,} \\ \eta(k) = r^{-1}(k), r(k) = \alpha r(k-1) + 1, 0 < \alpha \leq 1, \\ c_j(k-1) & \text{— если } j\text{-ый нейрон не победил.} \end{cases} \quad (3)$$

Рассчитанные с помощью правила обучения (3) прототипы $c_j(k)$ ($c_j(N)$ в случае, если обучающая выборка имеет фиксированный объем) подаются на входной слой, где вычисляются уровни принадлежности

$$u_j(k) = \frac{\|x(k) - c_j(N)\|^{-2}}{\sum_{l=1}^m \|x(k) - c_l(N)\|^{-2}}, \quad (4)$$

определяемые координатами седловой точки лагранжиана

$$\nabla_{u_j} L(u_j, c_j, \lambda) = \nabla_{u_j} \left(\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m u_j^2(k) \|x(k) - c_j\|^2 + \lambda \left(\sum_{j=1}^m u_j(k) - 1 \right) \right) = \vec{0},$$

лежащего в основе широко распространенного метода нечетких С-средних (FCM) вероятностной нечеткой кластеризации [5], (здесь λ — неопределенный множитель Лагранжа).

Переписав (4) в виде

$$u_j(k) = \frac{1}{1 + \|x(k) - c_j(k)\|^2 \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^m \|x(k) - c_l(k)\|^{-2}} = \frac{1}{1 + \frac{\|x(k) - c_j(k)\|^2}{\sigma_j^2(k)}}, \quad (5)$$

несложно заметить, что выражение (5) задает колоколообразную функцию принадлежности с центром в точке $c_j(k)$ и параметром ширины

$$0 \leq \sigma_j^2 = \left(\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^m \|x(k) - c_l(N)\|^{-2} \right)^{-1} \leq \frac{4}{m-1},$$

т.е. вопрос о конкретном виде функции принадлежности в отличие от [14,15] здесь решается автоматически.

Таким образом, соотношения (3),(4) задают on-line алгоритм обучения адаптивной нечеткой нейронной сети обучаемого векторного квантования.

Выводы

Рассмотрена задача автоматической классификации текстовых документов, поступающих на обработку в реальном времени. Предложена архитектура адаптивной нечеткой нейронной сети обучаемого векторного квантования (AFLVQ) и on-line алгоритм ее обучения, отличающийся вычислительной простотой и высоким быстродействием.

Список литературы: 1. Umer M.F., Khiyal M.S.H. Classification of textual documents using learning vector quantization// Information Technology Journal.–2007.–6(1).–p.154-159. 2. Ciarelli P.M., Oliveira E. An enhanced probabilistic neural network approach applied to text classification// Lecture Notes on Computer Science.–V.5856.–Berlin- Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.–p.661-668. 3. Bodyanskiy Ye., Shubkina O. Semantic annotation of text documents using modified probabilistic neural network// Proc. 6th IEEE Int. Conf. Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications – 15-17 Sept.2011, Prague, Czech Republic, 2011. – p.328-331. 4. Bodyanskiy Ye., Shubkina O. Semantic annotation of text documents using evolving neural network based on principle “Neurons at Data Points”// Proc. 4th Int. Workshop on Inductive Modelling “IWIM 2011”.–Kyiv, 2011.–p.31-37. 5. Bezdek J.C., Keller J., Krishnapuram R., Pal N.R. Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing.–N.Y.: Springer Science + Business Media, Inc., 2005.–776 p. 6. Kohonen T. Self-Organizing Maps.–Berlin: Springer, 1995.–362 p. 7. Kohonen T. Improved version of learning vector quantization// Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks.– San Diego, CA, 1990.–1.–p.545-550. 8. Hammer B., Villmann T. Generalized relevance learning vector quantization// Neural Networks.–2002.–15.–p.1059-1068. 9. Biehl M., Ghosh A., Hammer B. Learning vector quantization: The dynamics of winner-takes-all algorithm// Neurocomputing.–2006.–69.–p.660-670. 10. Sanches J.S., Marques A.I. An LVQ-based adaptive algorithm for learning from very small codebooks// Neurocomputing.–2006.–69.–p.922-927. 11. Бодянский Е.В., Руденко О.Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения. –Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2004.–372 с. 12. Руденко О.Г., Бодянский Е.В. Штучні нейронні мережі.–Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006.–404 с. 13. Souza R.M.C.R. de, Silva Filho T.M. de. Optimized learning vector quantization classifier with an adaptive Euclidean distance// Lecture Notes in Computer Science.–V.5768.–Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.–p.799-806. 14. Karayiannis N.B., Pai P.-I. Fuzzy algorithm for learning vector quantization// IEEE Trans. on Neural Network.–1996.–7. –№5.–p.1196-1211. 15. Wu K.-L., Yang M.-S. A fuzzy-soft learning vector quantization//Neurocomputing.–2003.–55.–p.681-697. 16. Kim Y.-S., Kim S.-I. Fuzzy neural network model using a fuzzy learning vector quantization with the relative distance// Proc.7th Int. Conf. on Hybrid Intelligent System “HIS 2007”.–Kaiserlautern, Germany, 2007.–p.90-94. 17. Baras J.S. LaVigna A. Convergence of Kohonen’s learning vector quantization// Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks.– San Diego, CA, 1990.–V.3.–p.17-20.

Поступила в редколлегию 16.11.2011

УДК 621.65

О.Г.ГУСАК, канд.техн.наук, доц., СДУ, Суми
О.І.КОТЕНКО, канд.техн.наук, доц., СДУ, Суми
Л.М.НІКОЛАЄНКО, асп., СДУ, Суми

ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ НАСОСНИХ УСТАНОВОК ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВІЛЬНОВИХРОВИХ НАСОСІВ

Ця стаття присвячена аналізу вартості життєвого циклу (LCC) і концепції використання його в особливо складних умовах експлуатації насосів.

Ключові слова: життєвий цикл, насос, експлуатація, конструкція.

Эта статья посвящена анализу стоимости жизненного цикла (LCC) и концепции использования его в особенно сложных условиях эксплуатации насосов.

Ключевые слова: жизненный цикл, насос, эксплуатация, конструкция.

This article is devoted to analysis of life cycle cost (LCC) and the concept of its use in especially complex conditions of operation of the pumps.

Keywords: life cycle, pump, exploitation, construction.

1. Вступ

При підборі різного обладнання в теперішній час широко використовується метод оцінки і контролю вартості устаткування (LCC analysis – life cycle cost analysis), який враховує всі витрати, які неминуче виникають в процесі його експлуатації [1]. Тому перед здійсненням покупки спеціалістам рекомендується проводити аналіз вартості життєвого циклу насоса. Це можна зробити як до придбання нового устаткування, так і для оптимізації вже встановленого. Даний аналіз зводиться до калькуляції основних статей витрат (табл. 1.), що виникають в процесі експлуатації.

Таблиця 1. Основні статті витрат

Позначення	Описання	
$C_{інв}$	Інвестиційні витрати	Вартість життєвого циклу обладнання полягає у визначенні суми всіх статей витрат
C_m	Витрати на монтаж	
$C_{ел}$	Витрати на електроенергію	
$C_{експ}$	Експлуатаційні витрати	$LCC = C_{інв} + C_m + C_{ел} + C_{експ} + C_{тех} + C_{ек} + C_d$
$C_{тех}$	Витрати на технічне обслуговування	
C	Витрати, які пов'язані з ремонтом	Аналіз ґрунтується на розрахунковій тривалості терміну експлуатації насоса.
$C_{ек}$	Екологічні витрати	
C_d	Витрати на демонтаж	

В першу чергу виділяють і аналізують актуальні і неминучі статті витрат кожного запропонованого варіанту насоса. Потім визначаються статичні і динамічні статті витрат, яким надається особлива увага, оскільки вони мають ключове значення для ефективної і безперебійної роботи насоса. Основна мета аналізу полягає в тому, щоб придбати надійне і енергоефективне устаткування, яке забезпечить мінімальні витрати в процесі його терміну експлуатації. На рис. 1 наведена типова структура вартості життєвого циклу насосної установки середнього розміру, за допомогою якої можливо проаналізувати роботу насоса в технологічних лініях промислових підприємств [2].

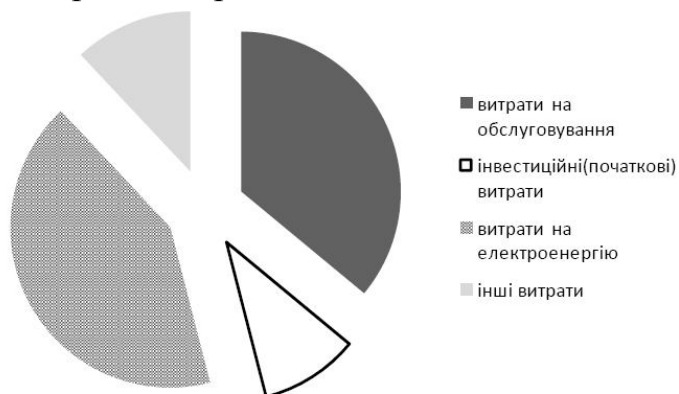


Рис. 1. Типова структура вартості життєвого циклу насосної установки середнього розміру

2. Основна частина

Часто для проведення техніко – економічного обґрунтування або для оцінки терміну окупності використовують лише такий показник, як початкова вартість устаткування (іноді враховують і вартість монтажу). При цьому абсолютно не береться до уваги, що ця ціна складає лише частину від загальної суми витрат, які несе споживач від придбання до утилізації насосного устаткування, а це і вартість споживаної електроенергії, і витрати на технічне обслуговування і ремонт і т. д.

Зараз саме зниження витрат життєвого циклу і визначає основні тенденції розвитку на насосному ринку.

Зниження витрат життєвого циклу проводиться в двох напрямках:

Перший напрямок – це зниження споживання енергоресурсів:

- підвищення к. к. д. як самих насосів, так і насосних установок;
- виготовлення насосів безпосередньо від споживача;
- вживання більш ефективних електродвигунів;
- широке вживання пристроїв оптимізації роботи насосів, наприклад за допомогою зміни частоти обертання вала приводу.

Другий напрямок – зниження витрат на ремонт і експлуатацію:

- мінімізація впливу людського фактору на роботу устаткування;
- розповсюдження використання приладів контролю і регулювання насосів в процесі експлуатації в поєднанні з системами ранньої діагностики і попередження несправностей;
- мінімізація експлуатаційних і ресурсних витрат на використання устаткуванням протягом всього життєвого циклу;
- мінімізація часу і кваліфікації персоналу при ремонті насосів (як приклад, використання блоково – модульної конструкції).

Кількість енергії і матеріалів, що використовуються насосною установкою, залежать від типу насоса, виду установки і способу експлуатації. Ці чинники взаємопов'язані. Більш того, вони повинні бути ретельно підібрані, щоб

забезпечити протягом своєї роботи найменше споживання електроенергії, найменші експлуатаційні витрати і т.д. Початкова ціна придбання насоса є малою частиною вартості життєвого циклу для широкого вживання насосів.

При експлуатації насосів для перекачування чистих рідин в аналізі вартості життєвого циклу основна увага надається першому напрямку зниження витрат. Проте, в складних умовах витрати на усунення надмірного зносу проточної частини, обслуговування, запчастини, незаплановані простої, забезпечення необхідної подачі, заміну ущільнень і зменшення пошкоджень продукції в насосі складатимуть істотну частку в вартості життєвого циклу, переважаючи над інвестиційними і поточними експлуатаційними витратами.

Прикладами складних випадків при експлуатації насосів є перекачування рідин з високим вмістом абразивних речовин і волокнистих включень, рідин в'язкістю більше 50сПз, або з високим вмістом повітря або газу, рідин чутливих до зрізу і рідин, що містять крихкі речовини. Саме до цих умов експлуатації насосів слід застосовувати другий напрямок аналізу вартості життєвого циклу, але при цьому не виключати можливості зниження енергоспоживання.

Основні проблеми, які виникають у важких умовах функціонування насосів, і упровадження заходів, що приводять до зменшення витрат, пов'язаних з експлуатацією, наведені в табл. 2 і 3.

В табл. 2 наведені умови роботи і наслідки, що виникають при роботі традиційних насосних установок, при транспортуванні складних для перекачування рідин.

Таблиця 2. умови роботи і наслідки, що виникають при роботі традиційних насосних установок, при транспортуванні складних для перекачування рідин.

Перелік перекачуваних рідин	Умови роботи насосів і наслідки їх експлуатації
Високоабразивні рідини	Передчасний знос проточної частини відцентрових насосів в результаті ударів абразивними включеннями
Суспензії з високим вмістом твердих речовин	Передчасний знос проточної частини, який залежить від природи твердої речовини. Втрата подачі насоса приводить до простою технологічного обладнання
В'язкі рідини (понад 50сПз)	В'язкісне тертя приводить до різкого зростання споживання енергоресурсів. Втрата подачі насоса приводить до простою технологічного обладнання
Рідини з високим вмістом газу або повітря	Кавітація і зрив параметрів відцентрових насосів приводить до зростання експлуатаційних витрат та простоїв технологічного обладнання
Рідини з крупними або волокнистими частинками	Закупорювання проточної частини приводить до зростання експлуатаційних витрат та простою відцентрових насосів
Рідини, які чутливі до зрізу або містять крихкі речовини	Руйнування продукції в результаті ударів об елементи проточної частини відцентрових насосів

Що стосується етапів аналізу вартості життєвого циклу, то при порівнянні

двох або більше насосних установок, першим є ідентифікація основних характеристик перекачуваного середовища.

Для цього необхідно визначити: складові перекачуваної рідини; наявність в рідині абразивних включень; в'язкість рідини; вміст твердих речовин та їх концентрацію; наявність в рідині повітря (газу) та його об'ємну концентрацію; присутність у складі рідини крупних частинок або волокнистих включень; чутливість рідини до зрізу або наявність крихких речовин у складі рідини (ризик пошкодження продукції); можливість зупинки насоса і її вплив на кількісний показник продукції, що виробляється.

В табл. 3 наведені основні проблеми і наслідки роботи у разі використання насосів при транспортуванні складних для перекачування рідин.

Таблиця 3. Проблеми і наслідки роботи у разі використання насосів при транспортуванні складних для перекачування рідин

Перелік основних проблем	Наслідки роботи насосів
Пульсації	Укорочений термін служби ущільнень. Вібрація, погіршення роботи трубопроводів. Можливість дефектів продукції.
Високе радіальне та осьове зусилля.	Скорочення терміну служби ущільнень. Втомленість металу вала і пошкодження підшипників.
Неможливість роботи "насухо"	Обмежена гнучкість виробничого процесу.
Високі вимоги до допустимого кавітаційного запасу	Пошкодження насоса внаслідок кавітації.

Як же оцінити реальну економічну ефективність використання насосної установки?

Для цього необхідно визначити: витрати на запасні частини внаслідок зносу; робочий час на ремонт та усунення закупорювання проточної частини насоса; витрати, які пов'язані із зупинкою (недовипущеною продукцією); витрати на заміну ущільнень через пульсації або високі невірніважені радіальні і осьові сили; втрати, які пов'язані з деструкцією продукту у разі рідин з крихкими і чутливими до зрізу речовинами.

З відповідей на ці питання і складається оцінка існуючої насосної установки і розрахунок витрат, пов'язаних з кожним показником.

Витрати, які пов'язані з перекачуванням рідин з крихкими і чутливими до зрізу складовими, можуть бути найбільшою і важливою статтею в аналізі вартості життєвого циклу, проте саме цей чинник дуже часто не беруть до уваги.

Більшість насосних установок працює з використанням відцентрових насосів, принцип роботи яких полягає в силовій взаємодії робочого колеса з протікаючою у міжлопатевому каналі рідиною. В цьому випадку виникає постійна взаємодія перекачуваного середовища та робочого колеса, тобто руйнування продукту являється неминучим. При перекачуванні суспензії, до складу якої входять кристали цукру, удари можуть пошкодити до 40% продукту і понизити якість кінцевої продукції.

Таким чином, більш економічне на момент закупівлі насосне обладнання в процесі експлуатації виявиться неефективним і менш надійним аналога.

В умовах перекачування неочищених побутових і промислових стоків, напівфабрикатів і продуктів у вигляді в'язких рідин, рідин з твердими частинками і волокнистими включеннями, а також різних суспензій надійно працюють вільновихрові насоси (ВВН). Вказані насоси знаходять використання на підприємствах: комунального господарства, харчової, хімічної, целюлозно-паперової, цукрової галузі і аграрно-промислового комплексу [3].

За принципом дії ВВН відносяться до гідромашин вихрового принципу дії, в яких рідке середовище переміщується переважно поза робочим колесом від центру до периферії. Через робоче колесо проходить тільки 15 – 20% перекачуваної рідини, тому колесо має підвищений ресурс в порівнянні з колесом відцентрового типу. На відміну від традиційних відцентрових насосів у ВВН тільки частина рідини проходить в міжлопатевих каналах, а друга частина проходить через вільну камеру без взаємодії з лопатями. Це захищає як перекачуваний продукт від надмірної взаємодії з робочим колесом, так і робоче колесо від дії продукту. Завдяки цьому запобігається пошкодження складових продукту і зношення проточної частини насоса. А широкі прохідні перерізи вільної камери дозволяють перекачувати рідини з великими включеннями.

Конструкція насоса проста (рис. 2), має мінімум деталей. В насосах ВВН робочим органом є робоче колесо з радіальними або нахиленими лопатями [3, 4].

Робоче колесо обертається в циліндричній розточці задньої стінки корпусу. Рідина із всмоктувального патрубка поступає у вільну камеру насоса, а потім входить в колесо в області втулки і під дією відцентрової сили відкидається до периферії.

Частина рідини, що виходить з робочого колеса, прямує частково у відвід, а інша частина при втраті енергії повертається до входу в робоче колесо. У вільній камері відбувається обмін кількістю руху між потоками рідини, що виходить із робочого колеса, і рідини, що поступає у вільну камеру з всмоктувального трубопроводу.

Концепція розвитку насосного устаткування передбачає зменшення кількості типорозмірів насосів. Блоково-модульна конструкція насосів передбачає широку уніфікацію деталей, що дозволяє зменшити номенклатуру запасних частин до насосів, забезпечити вигідність використання та зручність обслуговування.

Корпусно-опорна конструкція насоса відповідно до міжнародного стандарту ISO 2858 [5] дозволяє проводити ревізію без від'єднання корпусу від трубопроводів.

На відміну від відцентрових насосів ВВН використовуються для перекачування різних гідросумішей, основні з яких наведені нижче:

1. В'язкі рідини. Можлива робота ВВН при динамічній в'язкості рідини більше 50 сПз.

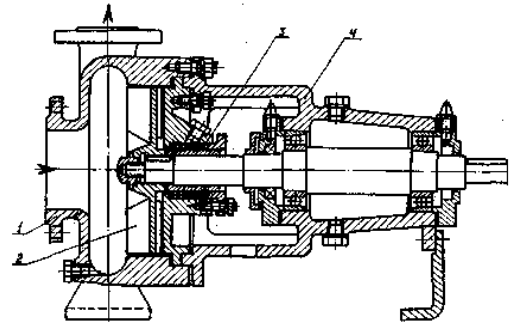


Рис. 2. Конструкція насоса ВВН: 1 – корпус; 2 – робоче колесо; 3 – ущільнення кінцеве; 4 – корпус підшипників

2. Суспензії з високим вмістом твердих включень. Насос забезпечує перекачування суспензій, що містять до 30% твердих частинок, при цьому не закупорюється і не зупиняється.

3. Рідини з абразивними включеннями. Насос перекачує рідин з сильноабразивними частинками з мінімальним зносом проточної частини. За даних умов експлуатаційні характеристики ВВН не змінюються.

4. Рідини з великим вмістом повітря (газу). ВВН забезпечують високу надійність роботи при перекачуванні газорідних сумішей з вмістом повітря (газу) до 50%.

5. Рідини, що містять крупні тверді частинки або волокнисті включення. Наявність вільної камери дозволяє перекачувати крупними включеннями без закупорювання проточної частини. Волокнисті включення, що містяться в перекачуваних суспензіях, не намотуються на лопаті і не закупорюють прохідні канали робочого колеса, як це спостерігається в роботі відцентрових насосів.

6. Легкопошкоджувані рідини або рідини з чутливими до дії сил зрізу речовинами. В результаті часткового контакту з робочим колесом можлива передача енергії кристалічним складовим з незначним їх руйнуванням, що підтверджується результатами роботи ВВН в багатьох галузях промисловості.

Конструктивні особливості і відмінність робочого процесу порівняно з відцентровим насосом надають наступні суттєві переваги ВВН [6]:

1. Відсутність строгих допускових обмежень. Наявність широких прохідних каналів дозволяє перекачувати в'язкі рідини і рідини з крупними включеннями без закупорювання проточної частини. ВВН може забезпечувати перекачування рідини з включеннями розміром 0,8 ширини вільної камери [3]. У ВВН відсутні передні ущільнення, що усуває проблему з їх зносом, регулюванням і промивкою.

2. Здатність працювати на закриту засувку. У зв'язку з наявністю вільної камери і відсутністю перетікання рідини через ущільнення робота ВВН при закритій засувці на напірному трубопроводі можлива протягом більшого проміжку часу, ніж для відцентрового насоса.

3. Надійна робота при зниженому тиску на вході. Можливість роботи без кавітації з великими висотами всмоктування дозволяє підвищити концентрацію перекачуваних середовищ, збільшити їх газовміст, а більш пізній прояв наслідків кавітації дозволяє зменшити глибину закладення фундаменту насосних установок. Допустимий кавітаційний запас для ВВН менше, ніж для стандартного відцентрового насоса, що працює в тих же експлуатаційних умовах [4].

4. Наявність незначних радіальних сил. Конструктивне виконання проточної частини і розташування робочого колеса в циліндричній розточці корпусу практично виключають радіальні сили, що забезпечує більш тривалий термін служби сальника, підшипників і валу.

5. Надзвичайно багатофункціональна конструкція. Конструкція ВВН дозволяє надійно і ефективно перекачувати велику різноманітність рідин з включеннями без поломок при експлуатації.

6. Низькі експлуатаційні витрати протягом терміну служби. В порівнянні з іншими конструкціями насосів для ВВН підтверджено скорочення потреби в

обслуговуванні, ремонті, а насосні установки при використанні ВВН працюють практично без простою в складних умовах перекачування різних рідин.

7. Перекачування рідин при незначному руйнуванні структури її складових. Принцип передачі енергії у ВВН передбачає незначну пульсацію, а можливість вільного протікання рідини через вільну камеру забезпечує зменшення деструкції (руйнування структури) технологічної рідини, зменшення пошкоджень у чутливих до дії сил зрізу речовин. Наявність незначного ударного контакту між перекачуванням середовищем і робочим колесом являється головною перевагою ВВН від існуючих конструкцій відцентрових насосів.

Порівняння витрат при виборі насосів проводиться при аналізі сукупних витрат (включаючи витрати на придбання і подальше обслуговування). Вибір варіанту насоса при цьому здійснюється з позиції мінімізації їх загальної величини за період служби насоса. При транспортуванні складних для перекачування рідин аналіз вартості життєвого циклу насоса рекомендується проводити по методиці, в якій основна роль належить витратам та експлуатацію та ремонт.

3. Висновки

Таким чином для зменшення вартості життєвого циклу насосних установок при перекачуванні рідин з високим вмістом абразивних включень, суспензій з великим вмістом твердих речовин і волокнистих включень, рідин з в'язкістю більше 50 сПз, рідин з високим вмістом повітря або газу, рідин чутливих до зрізу і рідин, що містять крихкі речовини перевага використання вільновихрових насосів незаперечна.

Список літератури: 1. Оценка стоимости жизненного цикла оборудования. Экономическая эффективность в долгосрочной перспективе [Текст] // Энергоэффективное оборудование. – 2007. – №7. – С. 12 – 13. 2. Анализ стоимости жизненного цикла насосного оборудования [Текст] // Энергоэффективное оборудование. – 2008. - №6. – С. 16 – 17. 3. *Поступила в редколлегию 23.11.2011* Свободновихревые насосы [Текст]: учеб. пособие / А.И. Ковалев, В.Ф. Герман. – К. : УМК ВО, 1990. – 60 с. 4. *Котенко А.И.* Оценка кавитационных качеств свободновихревых насосов [Текст] / А.И. Котенко, В.Ф. Герман // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки – 2008. – №4. – С. 93 – 105. 5. ISO 2858. Насосы центробежные с осевым входом (номинальное давление 16 бар). Обозначение, номинальные параметры [Текст]. – Введ. 01.02.1975. – М: Изд – во стандартов, 1975. – 8 с. 6. Зменшення вартості життєвого циклу насосних установок при експлуатації вільно вихрових насосів в умовах виготовлення цукру [Текст] : матеріали міжнародної науково технічної конференції цукровиків України «Бурякоцукрова галузь в умовах національного та світового ринків». – К.: «Цукор України», 2011. – 172 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 658.26:621.311

Л.Г.УВАРОВА, маг., ЗДІА, Запоріжжя

С.А. ЛЕВЧЕНКО, канд.техн.наук, ЗДІА, Запоріжжя

ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

В статті, на основі методу формових відображень, розглянуто спосіб підвищення ефективності системи електропостачання підприємства на довгострокову перспективу на прикладі підприємства ПрАТ «Запоріжполімертара».

Ключові слова: метод формових відображень, графіки електричних навантажень

В статье, на основе метода формовых отображений, рассмотрен способ повышения эффективности системы электроснабжения предприятия на долгосрочную перспективу на примере предприятия ЧАО «Запорожполимертара»

Ключевые слова: метод формовых отображений, графики электрических нагрузок

In this article, based on the method of molding the maps, is considered a way to improve the efficiency of power supply system on a long term perspective on the example of the company CHAO "Zaporozhpolimertara"

Keywords: method of molding the maps, graphs of electrical loads

Вступ

Промислові підприємства є одними з головних споживачів електричної енергії, на долю яких припадає близько двох третин вжитку електроенергії. Згідно з умовами функціонування оптового ринку електроенергії споживачі-учасники ринку зобов'язані заявляти планові об'єми вжитку електроенергії. Від режимів споживання електроенергії залежать режими роботи енергетичних установок основного устаткування електростанцій, ліній електропередач і трансформаторних підстанцій. При здійсненні постачання електроенергії відхилення фактичного вжитку від заявленого призводить до накладання штрафів. Тому участь підприємства на оптовому ринку електроенергії вимагає підвищення точності прогнозування даних про електроспоживання. У зв'язку з цим особливо велике значення має завдання визначення електричних навантажень промислових підприємств. Прогнозування електроспоживання підприємства є одним з важливих моментів планування діяльності всього підприємства, а також Енергосистеми в цілому. Підвищення ефективності електроспоживання підприємства можливе за рахунок прогнозування графіків електричного навантаження (ГЕН). Для цього найбільш доцільно застосовувати метод формових відображень, який було розроблено в Інституті загальної енергетики НАН України [1].

Метод формових відображень для довгострокового прогнозування графіків електричного навантаження в умовах перехідної економіки

Перспективні графіки навантаження характеризують використання тих чи інших технологій споживання електричної енергії на певний момент часу і є основною інформацією, необхідною для планування роботи підприємства, а також підвищення його енергоефективності. На процес формування графіків навантаження впливає велика кількість факторів, як випадкових, так і закономірних.

Мета прогнозу - оцінити очікуваний графік навантаження та величину споживання електричної енергії за відповідний проміжок часу для завчасного планування режимів електроспоживання підприємства. Завдання полягає в МІНІМІЗАЦІЇ невизначеності з метою найкращого наближення прогнозованого графіка навантаження до майбутнього фактичного. Це дозволить у перспективі визначити ефективну структуру робочих потужностей, визначити основні режими роботи обладнання.

При застосуванні метода формових відображень (МФВ) за вихідні данні беруться графіки споживання електричної енергії підприємством за роками. Графік складається з двох періодів, а саме: ретроспективного $[J, 0]$ та перспективного $[0; J]$, де 0 – базовий рік; J – максимальний рік періоду прогнозування. Принциповою особливістю МФВ є те, що початок ретроспективного періоду J співпадає з роком максимального електроспоживання в минулому.

У роботі, на основі методу формових відображень, було розглянуто перспективне, до 2020р. включно, електроспоживання підприємства ПрАТ «Запоріжполімертара», ретроспективний період якого починається з 2005 року, це рік максимального електроспоживання підприємства. За базовий прийнято 2010 рік, як рік стабільної роботи підприємства. Для перспективного періоду було спрогнозовано обсяг споживання електричної енергії підприємством (рис 1).

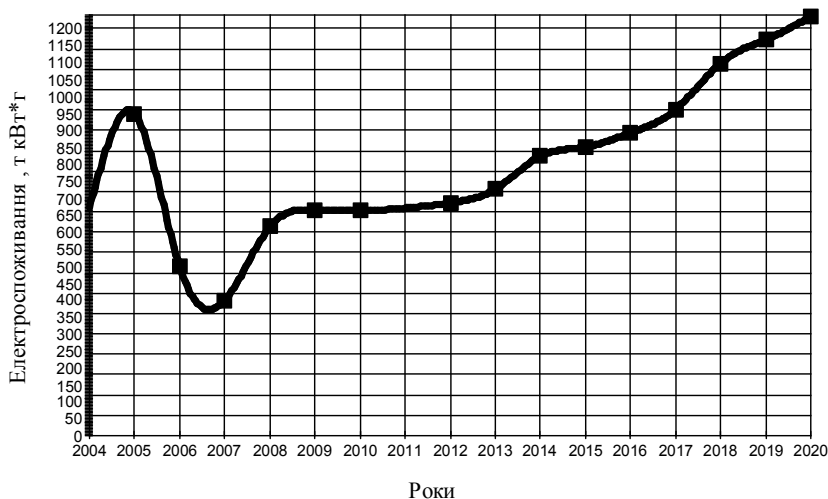


Рис.1. Споживання електроенергії підприємством по роках

Для формування прогнозованих графіків електричного навантаження

підприємства на довгострокову перспективу згідно алгоритму [1] визначаються:

1. Індeksi річного електроспоживання за роками ретроспективного 2005-2009 рр. і прогнозованого 2011-2020рр. періодів.

$$\alpha_{\underline{j}} = \frac{W_{\underline{j}}}{W_0}, \quad \alpha_{\overline{j}} = \frac{W_{\overline{j}}}{W_0}, \quad (1)$$

де $W_{\underline{j}}$ – споживання електричної енергії у роки $\underline{j}$ ретроспективного періоду, кВт·год. W_0 – об'єм спожитої електричної енергії у базовий рік, кВт·год; $W_{\overline{j}}$ – споживання електричної енергії у роки $\overline{j}$ перспективного періоду, кВт·год.

Таблиця 1. Індeksi річного електроспоживання

Роки	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Індeksi	1,43	0,75	0,60	0,93	1,03	1

Продовження таблиці 1

Роки	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Індeksi	1,02	1,04	1,10	1,24	1,28	1,35	1,45	1,67	1,76	1,86

Прогнозовані графіки споживання електричної енергії протягом певного року періоду є пропорційними до відповідних графіків минулих років з коефіцієнтом пропорційності, що дорівнює відповідним індексам річного електроспоживання.

2. Форми річних графіків електроспоживання для кожного року ретроспективного періоду

$$F_{\underline{j}}(t) = \frac{P_{\underline{j}}(t)}{P_{\underline{j}}^{\max}}, \quad (2)$$

де $P_{\underline{j}}(t)$ – річна потужність підприємства в $\underline{j}$ році, кВт; $P_{\underline{j}}^{\max}$ – максимальне значення потужності підприємства, кВт; t – місяці поточного року.

Таблиця 2.Форми річних ГЕН

Місяць	Форми річних ГЕН					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
січень	0,900	1	0,870	0,650	0,849	1
лютий	0,680	0,630	0,980	0,850	0,925	0,950
березень	0,590	0,680	0,760	0,950	0,968	0,800
квітень	0,680	0,730	0,500	0,810	0,900	0,750
травень	0,670	0,850	0,430	0,840	1	0,740
червень	0,730	0,630	0,640	0,860	0,839	0,730
липень	0,770	0,700	0,560	0,770	0,836	0,670
серпень	0,760	0,590	0,750	0,810	0,816	0,700
вересень	0,640	0,710	0,880	0,880	0,769	0,770
жовтень	1	0,780	0,860	0,730	0,700	0,740
листопад	0,890	0,720	0,870	1	0,753	0,750
грудень	0,960	0,740	1	0,960	0,825	0,720

3. Можливі нерівності індексів

$$\alpha_{\underline{j}+1} \leq \alpha_{\underline{j}} \leq \alpha_{\underline{j}}, \quad (3)$$

$$\alpha_{\underline{j}} > \alpha_{\underline{j}}. \quad (4)$$

4. Квазиформи електронавантаження, тобто умовні форми графіків електронавантаження підприємства у прогнозованому періоді.

Для кожного року перспективного періоду, в яких справедлива залежність (3), квазиформи ГЕН підприємства обчислюються за формулою:

$$F_{\underline{j}}^*(t) = F_{\underline{j}+1} + [F_{\underline{j}}(t) - F_{\underline{j}+1}(t)] \frac{\alpha_{\underline{j}} - \alpha_{\underline{j}+1}}{\alpha_{\underline{j}} - \alpha_{\underline{j}+1}}, \quad (5)$$

для років, яким відповідає залежність (4), квазиформи галузових ГЕН обчислюються за формулою:

$$F_{\underline{j}}^*(t) = F_{\underline{j}}(t) + [F_{\underline{j}}(t) - F_{\underline{j}+1}(t)] \times \frac{\alpha_{\underline{j}} - \alpha_{\underline{j}}}{\alpha_{\underline{j}} - \alpha_{\underline{j}+1}} \exp\left(\frac{\alpha_{\underline{j}} - \alpha_{\underline{j}}}{\alpha_{\underline{j}} - \alpha_{\underline{j}+1}}\right). \quad (6)$$

Для кожного прогнозованого року періоду згідно зі складеними нерівностями (3) та (4) визначаємо квазиформи ГЕН, відповідно до усього ретроспективного періоду. Для кожного місяця кожного року перспективного періоду було складено п'ять можливих квазиформ графіка електричного навантаження у відповідності до нерівностей (3) та (4). Для визначення форми прогнозованого графіка електричного навантаження оберемо тільки одну найбільш імовірну квазиформу. Для цього застосовано методи математичної

статистики. Вони дали окрім найбільш імовірного значення квазиформи також його імовірну похибку. Розраховані значення для перспективного періоду занесені в табл.3.

Таблиця 3. Квазиформи ГЕН перспективного періоду

Місяці	Вірогідні квазиформи річних ГЕН									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Січень	0,878 ±0,73 %	0,859 ±1,42 %	0,855 ±1,49 %	0,879 ±1,9 %	0,849 ±1,56 %	0,860 ±1,68 %	0,846 ±1,59 %	0,843 ±1,6 %	0,843 ±1,68 %	0,843 ±1,6 %
Лютий	0,796 ±2,2%	0,86 ±1,54 %	0,856 ±0,52 %	0,854 ±1,89 %	0,863 ±1,64 %	0,865 ±0,72 %	0,873 ±1,42 %	0,876 ±1,3 %	0,877 ±1,37 %	0,878 ±1,36 %
березень	0,803 ±1,9%	0,851 ±1,81 %	0,862 ±1,44 %	0,860 ±1,25 %	0,839 ±1,59 %	0,830 ±1,68 %	0,821 ±2,01 %	0,814 ±2,13 %	0,812 ±2,2 %	0,811 ±1,91 %
Квітень	0,754 ±1,4%	0,771 ±1,77 %	0,776 ±1,7 %	0,767 ±1,67 %	0,755 ±1,69 %	0,751 ±1,75 %	0,740 ±1,89 %	0,740 ±2,08 %	0,729 ±1,29 %	0,730 ±2%
травень	0,812 ±1,9%	0,817 ±1,34 %	0,838 ±2,4 %	0,827 ±2,5 %	0,792 ±2,32 %	0,782 ±2,38 %	0,752 ±1,64 %	0,741 ±1,92 %	0,734 ±2,9 %	0,730 ±1,79 %
червень	0,734 ±1,3%	0,775 ±1,23 %	0,748 ±1,68 %	0,738 ±1,79 %	0,754 ±1,31 %	0,756 ±1,28 %	0,769 ±1,07 %	0,752 ±0,89 %	0,770 ±1,13 %	0,770 ±1,15 %
Липень	0,734 ±0,87 %	0,754 ±1,3 %	0,726 ±1,52 %	0,713 ±0,26 %	0,722 ±1,3 %	0,722 ±1,32 %	0,730 ±1,38 %	0,738 ±1,55 %	0,730 ±1,51 %	0,730 ±1,54 %
серпень	0,718 ±1,51 %	0,757 ±1,01 %	0,725 ±2,02 %	0,714 ±2,19 %	0,742 ±1,22 %	0,747 ±1,08 %	0,771 ±0,65 %	0,791 ±0,92 %	0,779 ±0,69 %	0,780 ±0,71 %
вересень	0,772 ±2,29 %	0,788 ±1,07 %	0,802 ±0,77 %	0,809 ±0,78 %	0,797 ±1,02 %	0,796 ±1,09 %	0,787 ±1,36 %	0,754 ±1,32 %	0,783 ±1,47 %	0,783 ±1,49 %
жовтень	0,776 ±0,92 %	0,779 ±1%	0,728 ±0,78 %	0,722 ±0,83 %	0,761 ±0,79 %	0,796 ±0,92 %	0,801 ±1,65 %	0,867 ±1,92 %	0,816 ±1,98 %	0,818 ±2%
листопа д	0,814 ±1,29 %	0,835 ±0,99 %	0,795 ±1,67 %	0,805 ±2,12 %	0,825 ±1,35 %	0,832 ±1,36 %	0,857 ±1,31 %	0,856 ±1,25 %	0,865 ±1,39 %	0,866 ±1,4 %
грудень	0,846 ±1,38 %	0,864 ±1,19 %	0,820 ±1,9 %	0,813 ±2,2 %	0,851 ±1,44 %	0,859 ±1,39 %	0,892 ±1,4 %	0,904 ±1,52 %	0,905 ±1,53 %	0,906 ±1,55 %

5.Форми прогнозованих ГЕН знайдемо за формулою

$$F_j^{\text{прогноз}}(t) = \frac{F_j^*(t)}{F_j^{*\max}}. \quad (7)$$

Таблиця 4.Прогнозовані ГЕН

Місяць	Прогнозовані ГЕН									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
січень	1	0,989	0,992	1	0,984	0,994	0,948	0,933	0,931	0,930
лютий	0,907	1	0,993	0,972	1	1	0,979	0,969	0,969	0,969
березень	0,915	0,980	1	0,978	0,972	0,960	0,920	0,900	0,897	0,895
квітень	0,859	0,888	0,900	0,873	0,875	0,868	0,830	0,819	0,806	0,806
травень	0,925	0,941	0,972	0,941	0,918	0,904	0,843	0,820	0,811	0,806
червень	0,836	0,893	0,868	0,840	0,874	0,874	0,862	0,832	0,851	0,850
липень	0,836	0,867	0,842	0,811	0,837	0,835	0,818	0,816	0,807	0,806
серпень	0,818	0,872	0,841	0,812	0,860	0,864	0,864	0,875	0,861	0,861
вересень	0,879	0,908	0,930	0,920	0,924	0,920	0,882	0,834	0,865	0,864
жовтень	0,884	0,897	0,845	0,821	0,882	0,889	0,898	0,959	0,902	0,903
листопад	0,927	0,962	0,922	0,916	0,956	0,962	0,961	0,947	0,956	0,956
грудень	0,964	0,995	0,951	0,925	0,986	0,993	1	1	1	1

6.Для кожного розрахункового року обчислюємо коефіцієнти заповнення прогнозованого ГЕН за формулою:

$$k_j^{зан} = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^J F_j^{прогноз}(t) \quad (8)$$

Таблиця 5. Коефіцієнти заповнення ГЕН для прогнозованих років

Роки	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
$K^{зан}$	0,896	0,933	0,921	0,901	0,922	0,922	0,900	0,892	0,888	0,887

7.Для кожного року перспективного періоду обчислюємо максимальні значення ГЕН

$$P_j^{max\,прогноз} = \frac{W_j}{k_j^{зан} \times T} \quad (9)$$

8. Для кожного року перспективного періоду обчислюємо прогнозовані ГЕН

$$P_j^{прогноз} = P_j^{max\,прогноз} \times F_j^{прогноз}(t) \quad (10)$$

Кожне значення $P_j^{прогноз}$ можливо зкоригувати з урахуванням тарифного фактору через функцію попиту.

$$P_j^{кор} = P_j^{прогноз} \left[1 + \varepsilon_j \left(1 - \frac{s_j(f)}{s_j} \right) \right] \quad (11)$$

Висновки

Завдяки застосованому методу формових відображень було МІНІМІЗОВАНО невизначеність електричних навантажень, що призвело до найкращого

наближення прогнозованого графіку навантаження до майбутнього фактичного. Це дасть змогу спланувати роботу підприємства, зменшити втрати електроенергії в електричній мережі та оплату за електроенергію при використанні диференційованого тарифу.

Список літератури: 1. *М.М.Кулик*, академік НАН України, С.В.Дубовський, канд.техн.наук. Проблеми загальної енергетики №10/2004 – С.7 – 11. 2. *Гнеушев А.Н.* Теория вероятности и математическая статистика. – Запорожье: изд. ЗИЭИТ, 2003. – 76 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 621.65

В.Г.НЕНЯ, канд.техн.наук, доц., СДУ, Суми

С.О. ХОВАНСЬКИЙ, канд.техн.наук, ст.викл., СДУ, Суми

Л.В. ГАПИЧ, асп., СДУ, Суми

Е.В.КОЛІСНІЧЕНКО, канд.техн.наук, доц., СДУ, Суми

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ДРОСЕЛЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Розглядається робота насосної станції з паралельно працюючими відцентровими насосами з дросельним регулюванням. Отримані аналітичні залежності для характеристики насосної станції та методика визначення ефективності її роботи.

Ключові слова: насосна станція, насос, дросельне регулювання

Рассматривается работа насосной станции с параллельно работающими центробежными насосами с дросельным регулированием. Получены аналитические зависимости для характеристики насосной станции и методика определения эффективности ее работы.

Ключевые слова: насосная станция, насос, дросельное регулирование

The work of pumping station with centrifugal pumps working in parallel with throttle control is considered in the article. Analytical dependence for the pumping station's characteristic and the methods for determining its effectiveness are represented.

Keywords: pumping station, pump, throttle control

1. Вступ

Відцентрові насоси належать до найбільш поширеного класу лопатевих гідравлічних машин і використовуються у всіх галузях господарства, а частка енергії, що споживається приводом насоса, за різними джерелами оцінюється від 18 до 22 % усієї електроенергії, що використовується в світі [1]. Проведений аналіз науково-технічних публікацій показав, що згідно зі світовими тенденціями зниження обсягів енергоспоживання для насосного обладнання передбачено на рівні 40 %, у тому числі за рахунок збільшення максимального рівня коефіцієнта корисної дії (ККД) насоса (до 3 %), узгодження параметрів мережі і насоса (близько 4 %), адаптації (в межах 4 %) і регулювання (18 – 20%) насоса, відповідно до режимів його експлуатації протягом усього життєвого циклу, та оптимізації системи подачі та розподілу води в цілому (10 – 12 %) [1]. Удосконалення експлуатаційних техніко-економічних показників насосного

обладнання вимагає переходу до аналізу роботи не лише насосного агрегату, але і його взаємозв'язку з гідравлічною мережею.

В напірних системах подачі та розподілу води основними гідравлічними параметрами протікання технологічного процесу є витрата і тиск. Основні гідравлічні параметри жорстко пов'язані між собою, і змінити будь-який з них не змінюючи інший неможливо. Керувати основними параметрами насосної станції, тобто здійснювати цілеспрямовану їх зміну, можливо тільки змінюючи $H(Q)$ характеристики насосної станції. Дроселювання на виході з насосу, як спосіб керування $H(Q)$ характеристикою насосної станції, безумовно пов'язане з втратами енергії та більш низькою енергоефективністю процесу, у порівнянні з сучасними способами регулювання (регулювання зміною частоти обертання робочого колеса насоса та зміною кількості одночасно працюючих насосів). Але зважаючи на те, що організація регулювання дроселюванням відносно маловитратна і не потребує складних технічних рішень, то даний спосіб регулювання параметрів потоку рідини на виході з насосної станції широко використовується у вітчизняній і світовій практиці.

Метою даної роботи є встановлення умов раціонального застосування регулювання дроселюванням напору рідини та забезпечення заданого закону регулювання (заданої залежності напору від подачі на насосній станції). Для досягнення поставленої мети необхідно розробити математичну модель функціонування системи подачі та розподілу води (СПРВ), дослідити економічність функціонування СПРВ залежно від опору регулюючої арматури (елементів регулювання), встановити залежності для визначення значень гідравлічних опорів регулюючої арматури, що забезпечують необхідний закон регулювання.

2. Основна частина

Насос і зовнішня мережа утворюють єдину систему, рівноважний стан якої визначається матеріальним і енергетичним балансом. Матеріальний баланс забезпечується умовою рівності подачі насоса витраті у зовнішній мережі, енергетичний – рівністю напору насоса напору, спожитому мережею. На рисунку 1 представлена розрахункова схема спільної роботи двох насосів, з'єднаних паралельно, на зовнішню гідравлічну мережу. Регулювання параметрів на виході з насосної установки здійснювалося дроселюванням на засувках, які встановлені після кожного з насосів до напірного колектора (ζ_{1p} , ζ_{2p}) та після напірного колектора (ζ_{3p}). Однакові параметри на виході з насосної станції можна отримати регулюванням кожної з трьох засувки.

В роботах [2, 3] запропоновано спосіб апроксимації методом найменших квадратів напірної та енергетичної характеристик насоса за його паспортними характеристиками. Отже напірні та енергетичні характеристики насосів 1 і 2 запишемо у вигляді:

$$H_1(Q_1) = a_{n1} + c_{n1} \cdot Q_1^2, \quad (1)$$

$$H_2(Q_2) = a_{n2} + c_{n2} \cdot Q_2^2, \quad (2)$$

$$\eta_1(Q) = 2 \cdot \frac{\eta_{m1}}{Q_{01}} \cdot Q - \frac{\eta_{m1}}{Q_{01}^2} \cdot Q^2, \quad (3)$$

$$\eta_2(Q) = 2 \cdot \frac{\eta_{m2}}{Q_{02}} \cdot Q - \frac{\eta_{m2}}{Q_{02}^2} \cdot Q^2, \quad (4)$$

де $a_{н1}$, $c_{н1}$ – константи, що залежать від конструктивного виконання насоса і розраховані за паспортною характеристикою шляхом апроксимації за методом найменших квадратів, η_m , Q_m – значення ККД і подачі насоса в оптимальному режимі його роботи. Оскільки на ділянці 1 – 3 насос і засувка з'єднані послідовно, то напірна характеристика насоса H_1 і трубопроводу, приведені в точку 3 визначається як:

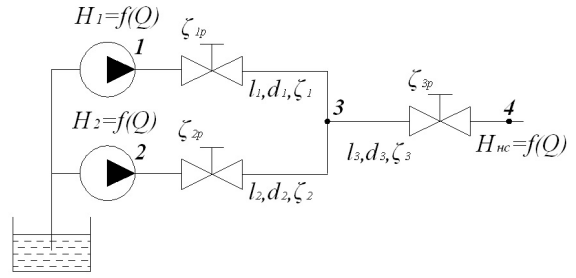


Рис.1. Розрахункова схема

$$H_{1-3}(Q) = H_1(Q) - \left(\zeta_{1p} + \zeta_1 + \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_1^4} \cdot Q^2, \\ H_{1-3}(Q) = a_{н1} + \left[c_{н1} - \left(\zeta_{1p} + \zeta_1 + \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_1^4} \right] \cdot Q^2. \quad (5)$$

Аналогічно для ділянки 2 – 3:

$$H_{2-3}(Q) = a_{н2} + \left[c_{н2} - \left(\zeta_{2p} + \zeta_2 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_2^4} \right] \cdot Q^2. \quad (6)$$

Для визначення напірної характеристики двох паралельно працюючих насосів, рівняння (5) та (6) запишемо у наступному вигляді:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{H_{1-3}(Q) - a_{н1}}{\left[c_{н1} - \left(\zeta_{1p} + \zeta_1 + \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_1^4} \right]}}. \quad (7)$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{H_{2-3}(Q) - a_{н2}}{\left[c_{н2} - \left(\zeta_{2p} + \zeta_2 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_2^4} \right]}}. \quad (8)$$

Враховуючи матеріальний ($Q_\Sigma = Q_1 + Q_2$) та енергетичний ($H_{1-3} = H_{2-3} = H_3$) баланси в точці 3 і рівняння (7), (8) маємо:

$$Q_\Sigma = \sqrt{\frac{H_3(Q) - a_{н1}}{\left[c_{н1} - \left(\zeta_{1p} + \zeta_1 + \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_1^4} \right]}} + \sqrt{\frac{H_3(Q) - a_{н2}}{\left[c_{н2} - \left(\zeta_{2p} + \zeta_2 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_2^4} \right]}}.$$

Розглянемо випадок паралельної роботи насосів з однаковими напірними характеристиками, при цьому $a_{н1} = a_{н2} = a_n$ та $c_{н1} = c_{н2} = c_n$, тоді останній вираз набуде вигляду:

$$Q_\Sigma = \sqrt{\frac{H_3 - a_n}{c_n - \left(\zeta_{1p} + \zeta_1 + \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_1^4}}} + \sqrt{\frac{H_3 - a_n}{c_n - \left(\zeta_{2p} + \zeta_2 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_2^4}}}.$$

або

$$H_3 = a_n + \left(\frac{\sqrt{c_n - \left(\zeta_{1p} + \zeta_1 + \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_1^4}} \cdot \sqrt{c_n - \left(\zeta_{2p} + \zeta_2 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_2^4}}}{\sqrt{c_n - \left(\zeta_{1p} + \zeta_1 + \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_1^4}} + \sqrt{c_n - \left(\zeta_{2p} + \zeta_2 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_2^4}}} \cdot Q_\Sigma \right)^2$$

Напірну характеристику двох паралельно працюючих насосів, приведену в точку 4, визначимо як:

$$H_4 = H_3 - \left(\zeta_{3p} + \zeta_3 + \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \right) \frac{8}{g\pi^2 d_3^4} \cdot Q_\Sigma^2.$$

Оскільки довжина ділянки трубопроводу від насоса до напірного колектора (в існуючих насосних станціях) на декілька порядків менше ніж довжина зовнішньої гідравлічної мережі ($l_1, l_2, l_3 \ll l_{\text{зовн}}$) і місцеві опори цих трубопроводів незначні у порівнянні із опором основного трубопроводу, то гідравлічними втратами по довжині та на місцевих опорах ділянок 1 – 3, 2 – 3, 3 – 4 припустимо знехтувати. Тоді напірна характеристика насосної станції, до складу якої входить два паралельно працюючих насоса, з однаковими напірними характеристиками, визначається як:

$$H_{\text{нс}} = a_n + \left(\frac{\sqrt{c_n - \zeta_{1p} \cdot \frac{16}{2g\pi^2 d_1^4}} \cdot \sqrt{c_n - \zeta_{2p} \cdot \frac{16}{2g\pi^2 d_2^4}}}{\sqrt{c_n - \zeta_{1p} \cdot \frac{16}{2g\pi^2 d_1^4}} + \sqrt{c_n - \zeta_{2p} \cdot \frac{16}{2g\pi^2 d_2^4}}} - \zeta_{3p} \cdot \frac{8}{g\pi^2 d_3^4} \right) \cdot Q_\Sigma^2 \quad (9)$$

Для оцінки енергетичної ефективності роботи насосної станції скористаймось узагальненням ККД, як відношенням гідравлічної енергії на виході з насосної станції до енергії, що споживається насосами:

$$\eta_{\text{нс}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_\Sigma \cdot H_{\text{нс}}}{\frac{\rho \cdot g \cdot Q_1 \cdot H_1(Q_1)}{\eta_1(Q_1)} + \frac{\rho \cdot g \cdot Q_2 \cdot H_2(Q_2)}{\eta_2(Q_2)}} \quad (10)$$

При роботі насосної станції на гідравлічну мережу, як правило висуваються конкретні вимоги до основних гідравлічних параметрів на вході до споживача. Ці вимоги ґрунтуються на умові забезпечення певного технологічного процесу у споживача. Для забезпечення потреб споживача на насосній станції здійснюється керування гідравлічними параметрами потоку рідини. В роботі [4] показано, що зазвичай регульованим параметром є тиск, при цьому тиск на виході з насосної станції відповідає певному закону регулювання ($H_p = f(Q)$), який визначається з умови забезпечення необхідних параметрів у споживача і враховує втрати енергії при транспортуванні рідини гідравлічною мережею.

Розглянемо випадок регулювання тиску на виході з насосної станції ($H_p = \text{const}$ при $Q = \text{var}$) за допомогою дроселюючих елементів на одному з насосів ($\zeta_{1p} = \text{var}$). Регулювання здійснюється таким чином, що другий насос працює в оптимальному режимі роботи. У даному випадку, з урахуванням (1), (3), (8) вираз (10) набуде вигляду:

$$\eta_{\text{нсл}} = \frac{Q_{\Sigma} \cdot H_p \cdot \eta_m \cdot \left(2 \cdot Q_0 - Q_{\Sigma} + \sqrt{\frac{H_p - a}{c}} \right)}{a + c \cdot \left(Q_{\Sigma} + \sqrt{\frac{H_p - a}{c}} \right)^2 \cdot Q_0 + H_p \cdot Q_0 \cdot \left(2 \cdot Q_0 - Q_{\Sigma} + \sqrt{\frac{H_p - a}{c}} \right)} \quad (11)$$

У випадку ж регулювання тиску на виході з насосної станції ($H_p = \text{const}$ при $Q = \text{var}$) за допомогою дроселюючих елементів на двох насосах ($\zeta_{1p} = \zeta_{2p} = \text{var}$), з урахуванням (1), (3), (8) вираз (10) набуде вигляду:

$$\eta_{\text{нсл}} = \frac{Q_{\Sigma} \cdot H_p \cdot \eta_m \cdot (4 \cdot Q_0 - Q_{\Sigma})}{(a + c \cdot Q^2) \cdot Q_0^2} \quad (12)$$

На рис. 2 представлена залежність зміни відносного ККД ($\eta_{\text{нсл}}/\eta_m$) насосної станції від відносної витрати (Q/Q_{Σ}) при регулюванні тиску за допомогою дроселюючих елементів на одному з насосів та за допомогою дроселюючих елементів на двох насосах. Аналіз рисунка 2 показує, що ККД насосної станції

при регулюванні тиску за допомогою дроселюючих елементів на одному з насосів більше в порівнянні з регулюванням двох насосів.

В роботах [2, 3] запропоновано визначати коефіцієнти апроксимації напірної характеристики насоса (a_n, c_n) через координати оптимальної робочої точки (в якій параметри насоса H_0 і Q_0), і тангенс кута дотичної в цій точці ($\text{tg} \gamma$).

В даному випадку тангенс кута дотичної в оптимальній робочій точці

характеризує крутизну напірної характеристики насоса.

3
урахуванням останнього твердження на рисунку 3 представлена

залежність зміни відносного ККД насосної станції від відносної витрати при різних значеннях крутизни напірної

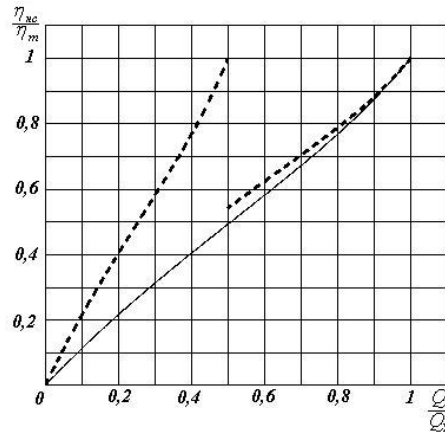


Рис. 2. Залежність зміни відносного ККД насосної станції від відносної витрати при різних способах регулювання
— — регулювання за допомогою дроселюючих елементів на одному з насосів; — — регулювання за допомогою дроселюючих елементів на двох насосах

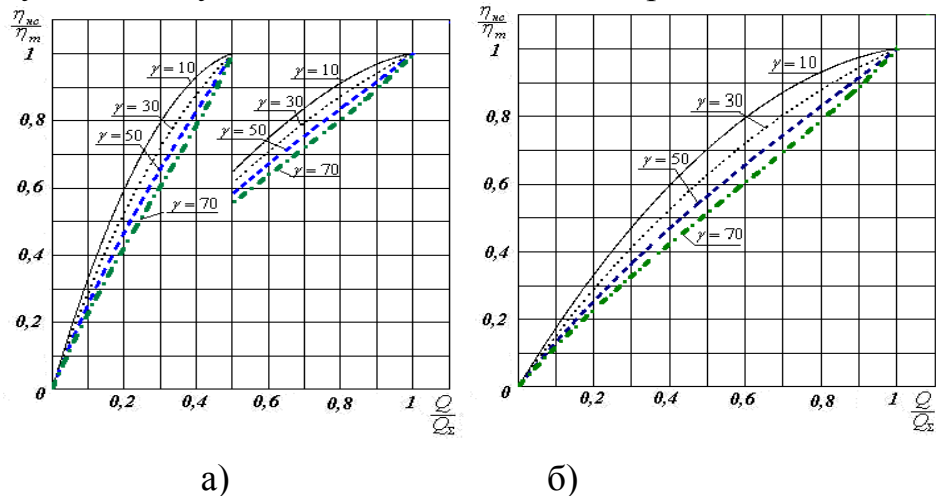


Рис. 3. Залежність зміни відносного ККД насосної станції від відносної витрати при різних значеннях крутизни напірної характеристики насоса при регулюванні тиску за допомогою дроселюючих елементів: а) на одному з насосів; б) на двох насосах

характеристики насоса при регулюванні тиску за допомогою дроселюючих елементів на одному з насосів (рис. 3, а) та на двох насосах (рис. 3, б). Аналіз рис. 3 показує, що при регулюванні тиску за допомогою дроселюючих елементів доцільно використовувати насоси з пологими напірними характеристиками.

3.Висновки

Вперше отримані аналітичні вирази для розрахунку характеристики насосної станції з паралельно працюючими насосами при регулюванні тиску на виході з насосної станції за допомогою дроселюючих елементів.

При зміні опору на трубопроводі користувача поза межами насосної станції робоча точка переміщується по напірній характеристиці насоса. При зміні опору на трубопроводі паралельно встановлених насосів в межах насосної станції робоча точка переміщається по характеристиці живильного трубопроводу. Комбінування зміною опорів на живильному трубопроводі та біля насосу дає можливість реалізувати бажаний закон регулювання витрати рідини споживачу.

Встановлено, що ККД насосної станції при регулюванні тиску на виході з насосної станції за допомогою дроселюючих елементів на одному з насосів більше в порівнянні з регулюванням двох насосів.

Визначено залежність ККД насосної станції з двома паралельно працюючими насосами від форми їх напірної характеристики. Встановлено, що при регулюванні зміною гідравлічних опорів доцільно застосовувати насоси з пологою формою характеристики.

Список літератури: 1. Europump/ Variable Speed Pumping. A Guide to Successful Applications // Hydraulic Institute and Europump. Published by Elsevier Ltd. – 2004. – 172 p. 2. *Бойко В.С.* Аналіз частотного регулювання відцентрових насосів водопостачання з метою енергозбереження [Текст] / В.С. Бойко, В.Г. Неня, М.І. Сотник, С.О. Хованський // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – № 4/(57). – Частина 1. – С. 168 – 171. 3. *Хованський С.О.* Підвищення ефективності експлуатації відцентрових насосів у системі водопостачання житлово-комунального господарства: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.17 “ Гідравлічні машини і гідропневмоагрегати ” [Текст] / С.О. Хованський. – Суми, 2011. – 21с. 4. *Хованський С.О.* Системний аналіз комплексу подачі і розподілу води в житлово-комунальному господарстві [Текст] / С.О. Хованський, В.Г. Неня // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2010. – № 4/4(46). – С. 56 – 59.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 621.577

О.І. ТАРАСОВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХП», Харків

В.О. ТАРАСОВА, канд.техн.наук, м.н.с., ИПМаш, Харків

І.В. ДОБРЯНСЬКА, маг, НТУ «ХП», Харків

ВПЛИВ КРОКУ МІЖ ТРУБАМИ КОЛЕКТОРА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ҐРУНТОВОГО ТЕПЛООБМІННИКА

Представлена двовимірна нестационарна математична модель ґрунтового теплообмінника горизонтального типу. Виконано аналіз впливу кроку розташування труб на величину теплового потоку від ґрунту до розсолу через стінку труби.

Ключові слова: тепловий насос, ґрунтовий теплообмінник, тепловий потік.

Представлена двумерная нестационарная математическая модель грунтового теплообменника горизонтального типа. Выполнен анализ влияния шага расположения труб на величину теплового потока от грунта к рассолу через стенку трубы.

Ключевые слова: Тепловой насос, грунтовый теплообменник, тепловой поток.

Two-dimensional transient mathematical model of ground heat exchanger of horizontal type is presented. The analysis of the influence of pitch tube arrangement on the heat flux from soil to the brine through the pipe wall is developed.

Keywords: heat pump, ground heat exchanger, the heat flux

Раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів являє сьогодні собою одну з глобальних світових проблем, успішне вирішення якої, мабуть, буде мати визначальне значення не тільки для подальшого розвитку світового співтовариства, а й для збереження середовища її проживання. Одним з перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є застосування нових енергозберігаючих технологій, які використовують нетрадиційні відновлювані джерела енергії. Найбільш поширеними з них є теплові насоси (ТН), що використовують у якості зовнішнього джерела теплової енергії тепло ґрунту на невеликих глибинах (цикл «ґрунт-вода»).

Розширення застосування в Україні систем тепlopостачання на основі ТН с ґрунтовими теплообмінниками (ГТ) йде, безумовно, недостатньо високими темпами, однак, в умовах дедалі гострішого дефіциту та зростання цін на енергоносії проблема енергозбереження для економіки України в цілому і для її житлово-комунального сектора зокрема стає дуже актуальною.

Грунтові теплообмінники являють собою систему труб розміщених в ґрунті вертикальним або горизонтальним способом. У даному дослідженні розглядаються тільки горизонтальне розміщення труб.

Відомо, що теплові насоси з ґрунтовими теплообмінниками використовуються в різних районах з м'яким кліматом. Розглянемо можливості такого насоса і зокрема грунтового теплообмінника в Україні на прикладі кліматичних умов м. Харкова.

За статистичними метеорологічними даними зміна температури повітря в м. Харкові представлено в табл. 1. Далі ці дані будуть використовуватися в якості граничних умов теплообміну при створенні моделі ГТ.

Таблиця 1. Середньостатистична температура зовнішнього повітря
м. Харкова

Середньомісячна температура зовнішнього повітря	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$t_{з.п.}^{\circ C}$	-7	-5	0	8	15	19	21	20	14	7	1	-2

При створенні моделі ГТ враховувалось, що на ефективність роботи теплообмінника впливають атмосферні умови і теплота, що йде від ядра землі. Температури повітря може бути задана достатньо коректно, оскільки є велика

кількість статистичних даних в різних точках планети протягом тривалого періоду вивчення атмосферних умов. Тепловий потік, що йде з ядра землі точно не визначений. Його значення оцінюється як $0,2\text{--}0,5 \text{ Вт/м}^2$ [1]. Більш точно відомо, що на глибині близько 10–20 м температура землі дорівнює середньорічній температури зовнішнього повітря. Вона становить приблизно 10°C . Тому в якості граничних умов задавалися умови конвекції на поверхні землі (граничні умови третього роду), а також температура на глибині 10 м.

Математична модель являла собою масив ґрунту з розміщеними усередині трубами (рис. 1). Висота масиву H була прийнята 10 м, що дозволило задати температуру землі на нижній межі. На верхній межі були задані зазначені атмосферні умови. Ширина масиву s змінювалася залежно від кроку розміщення труб. Глибина залягання h також була змінним параметром. Внутрішній діаметр труби дорівнював $d_{\text{вн}}=35 \text{ мм}$.

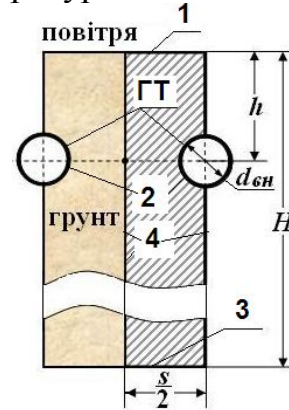


Рис. 1. Схема ґрунтового теплообмінника

Температурне поле ґрунту знаходилося шляхом рішення нестационарної крайової задачі теплопровідності

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

з граничними умовами першого і третього роду.

В якості початкових умов приймалося рівномірний розподіл температури в елементі ґрунту, при цьому початкова температура задавалася рівної середньорічній температурі зовнішнього повітря $t_0 = t_{\text{з.п.}}^{\text{с.р.}}$. Для того, щоб виключити вплив на результати розрахунку невизначеності початкових умов, розрахунок охоплював період у три роки. Причому для аналізу використовувалися данні тільки останнього року розрахунку.

Були прийняті наступні граничні умови:

– на границі 1 задавалася умова III роду

$$\alpha(t_{\text{тр}} - t_{\text{з.п.}}) = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right). \quad (2)$$

Індекс «з.п.» вказує на температуру зовнішнього повітря, яка в даних розрахунках змінювалась у часі (табл. 1); індекс «гр» – на температуру ґрунту. Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ґрунту к зовнішньому повітрю α задавалася $23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ згідно [1, 2];

– на границі 2 також задавалася умова III роду

$$\alpha_{\text{гр}}(t_{\text{с}} - t_{\text{р}}) = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right), \quad (3)$$

де індекс «с» вказує на температуру стінки труби; індекс «р» – на температуру розсолу (холодоносія) у ГТ.

$\alpha_{\text{гт}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої стінки труби до розсолу, Вт/(м²·К). Для розрахунку $\alpha_{\text{гт}}$ використовували відомі рівняння для вимушеного течії рідини в трубах [3];

- на границі 3 задана умова I роду $t = t_{\text{з.п}}^{\text{с.р.}}$;
- границя 4 в наслідок симетрії вважалась теплоізолюваною.

Для рішення рівняння (1) з крайовими умовами використовувався метод кінцевих елементів.

Закладка горизонтального теплообмінника в ґрунт є достатньо трудомісткою і дорогою операцією, і тому, зазвичай обмежуються максимальною глибиною закладання труб рівною 2 м. У даній роботі розглянуто модель ґрунтового масиву з закладкою труб на глибину $h=1,2$ м (див. рис. 1).

Встановлено в результаті розрахунків, що відведення теплоти в ІТ призводить до зниження температури ґрунту, прилеглого до труби. Причому вплив відведення теплоти відчувається навіть на поверхні ґрунту під час закладання труб на глибину 1,2 м с кроком між трубами $s=0,5$ м.

Змінення температури поверхні ґрунту відбувається з деякою затримкою. Так зниження температури на поверхні спостерігається після 15 діб з початку роботи ТН. Реакція ґрунту в точці А (рис. 1) на початку роботи теплового насосу проявляється вже через одну добу (рис. 2). Температура в цій самій точці менше

температури в цій же точці при непрацюючому тепловому насосі на 6–10 °С.

У місці закладення труб на відстані по горизонталі 0,25 (точка А) температура ґрунту різко знижується після включення теплового насоса.

В опалювальний період із збільшенням кроку s зменшується взаємовплив між колекторами і збільшується температура ґрунту в площині симетрії між трубами. Тому можна вважати, що збільшується акумульована теплота ґрунтом.

Розрахунки показали, що при зміні кроку між трубами від 0,5 м до 2 м температура в точці А збільшується на 1,5 °С в найбільш холодний час року (січень) (рис. 3). На початку січня температура в точці А при кроці 2 м позитивна.

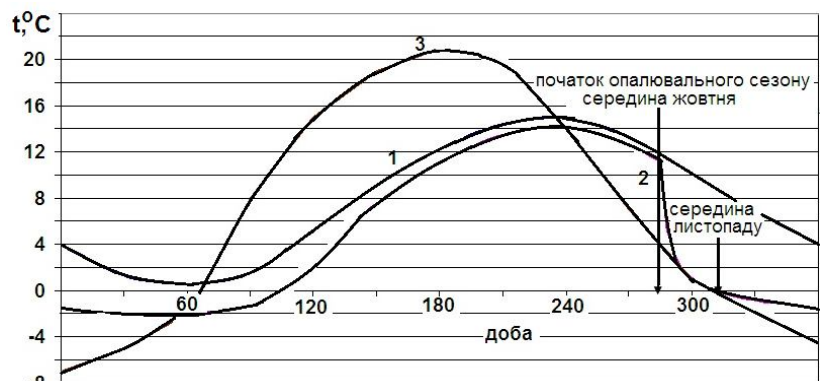


Рис. 2. Зміна температури ґрунтового масиву на глибині 1,2 м: 1 – температура безпосередньо ґрунтового масиву, тобто без закладання колектора; 2 – температура ґрунту у місці закладення ґрунтового; 3 – зміна температури повітря на протязі року

Проте ефективність експлуатації теплового насоса в грудні – березні зменшується. Час, коли найбільш ефективно використовувати тепловий насос обмежено жовтнем і листопадом.

У літературі вказується на те, що лінійна щільність теплового потоку до труб

у ґрунтовому теплообміннику становить 10-25 Вт/м. [1]. Ця оцінка була опорною для проектування теплообмінників такого типу. Слід зазначити, що обчислення теплового потоку в трубу виявляється досить проблематичним по результатам розрахунку теплового стану, в силу малої різниці температур розсолу і поверхні труби. Тому розрахунок теплового потоку проводився з аналізу градієнта температури в прилеглих до кордону елементах розрахункової сітки.

На рис. 4 ілюструється зміна теплового потоку в залежності від кроку розташування труб при температурі розсолу – 2 °С протягом всього опалювального періоду. Протягом перших 30 днів після початку опалення приміщень лінійна щільність теплового потоку до труб розташованих з

кроком 1 м знаходиться в межах 12–40 В/м, тобто середня величина складає приблизно 20 Вт/м. Це знаходиться у відповідності з даними [1].

Важливо зазначити, що експериментальні дані [1] відносяться до періоду часу роботи теплового насоса наближено рівному 30 днів. Отримані нами дані показують ще раз, що час роботи насоса не охоплює весь опалювальний період. Згідно розрахункам, найбільш доцільно його використовувати в наших кліматичних умовах у період перших 60 днів опалювального сезону. Це пояснюється тим, що акумульована ґрунтом теплота в теплий період року відбирається тепловим насосом і одночасно відбирається атмосферним повітрям.

Проведені розрахунки показали, що вплив кроку розташування труб на відбір від ґрунту теплового потоку спостерігається у весь опалювальний період (рис. 4). Наприклад, на п'ятнадцятий день роботи теплового насоса тепловий потік при кроці 0,5 м становить 10 Вт/м, а при кроці 2 м – 20 Вт/м. Таким чином, вони відрізняються в два рази. Через 105 діб тепловий потік різко знижується і

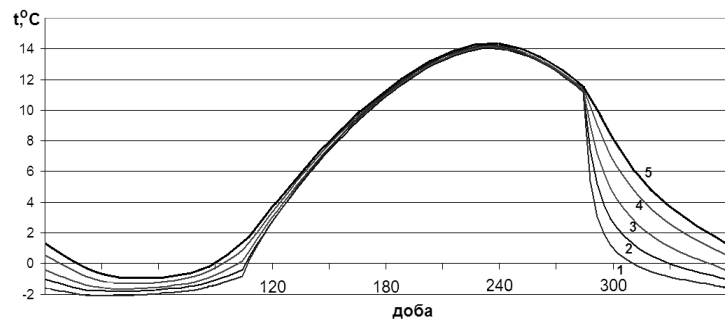


Рис. 3. Зміна температури ґрунту в точці А в залежності від кроку між трубами: 1 – 0,5 м; 2 – 0,7 м; 3 – 1 м; 4 – 1,5 м; 5 – 2 м

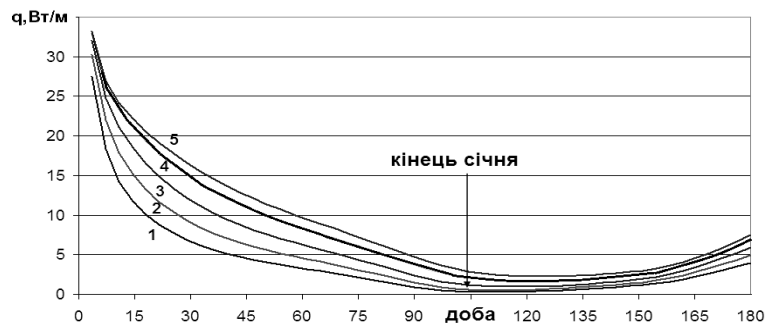


Рис. 4. Зміна теплового потоку в опалювальний період в залежності від кроку розташування труб на глибині залягання ґрунтового колектора 1,2 м: 1– 0,5 м; 2 – 0,7 м; 3 – 1 м; 4 – 1,5 м; 5 – 2 м при температурі розсолу -2 °С

відміна стає ще більшою. Однак величина теплового потоку настільки мала, що робить неефективним роботу теплового насоса при будь-якому з розглянутих кроків розташування труб. Якщо вважати, що тепловий насос використовується у перші 60 діб, то крок труб в 1 м виявляється кращим з точки зору економії площі під теплообмінник і прийнятного теплового потоку.

Слід відмітити, що метою даного дослідження була оцінка впливу розташування ГТ на величину теплосбіра з ґрунту. Тому для простоти задавалася постійна температура розсолу протягом всього опалювального періоду, що в результаті дало різке зниження величини теплового потоку з січня по березень. При роботі ТН температура розсолу не постійна, вона залежить від багатьох факторів [4]. Отже, змінюючи температуру розсолу, вдається збільшити щільність теплового потоку. Слід мати на увазі, що нижня межа температури розсолу обмежена тільки технічними можливостями теплового насоса. Навпаки верхня межа визначається головним чином тепловим станом ґрунту. Відомі марки теплових насосів володіють найбільшою ефективністю при низьких

температурах розсолу на виході випарника. Ця температура звичайно змінюється в діапазоні від 0 до -10°C . На рис. 5 наведено результати розрахунків теплового потоку в залежності від температури розсолу в трубах, розташованих на відстані 0,5 м одна від одної. Видно, що чим нижче температура розсолу, тим більше тепло збір с ґрунту ГТ.

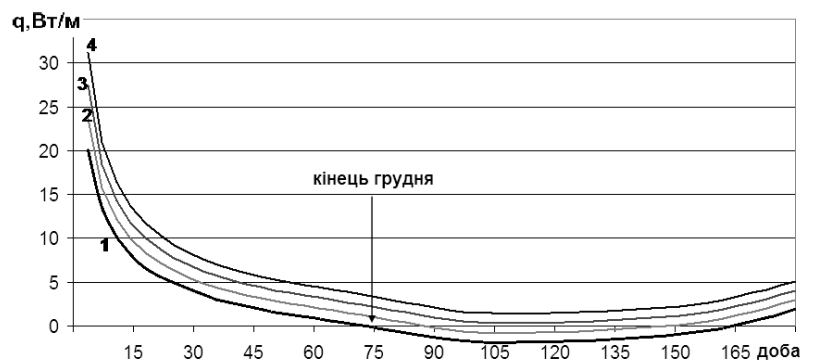


Рис. 5. Зміна теплового потоку в опалювальний період під впливом температури розсолу в трубі, розташованій на глибині 1,2 м:
1 – 2°C ; 2 – 0°C ; 3 – -2°C ; 4 – -4°C

Висновки

При зміні кроку між колекторами від 0,5 м до 2 м зменшується взаємовплив між ними і збільшується температура ґрунту в площині симетрії між трубами. Але це збільшення в найбільш холодний час року (січні) становить лише $1,5^{\circ}\text{C}$, що призводить до зниження ефективності теплового насоса.

Ефективність теплового насоса може бути збільшена у разі завдання оптимального графіка теплового навантаження ТН впродовж опалювального сезону. Крім того можна очікувати більшої теплової міцності у разі циклічного включення та відключення секцій ґрунтового теплообмінника, що може дати змогу прогріти ґрунт біля труб колектора.

Список літератури: 1.Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергией поверхностных слоёв земли / Г.П. Васильев. – М.: Издательский дом «Граница», 2006.– 176 с. 2.ДБН В.2.6-31:2006 Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель/ Мінбуд України, Київ, 2006.3. Исаченко В.П. Теплопередача/ В.П. Исаченко В.А. Осипова, А.С. Сукомел. –М.: Энергия, 1975.– 488 с. 4.Тарасова В. А., Харлампиди Д.Х., Шерстюк А. В. Моделирование тепловых режимов совместной работы

УДК 004.942:621.382

Д.В. ФЕДАСЮК, докт. техн. наук, проф., проректор, НУ«Львівська політехніка», Львів

Т.О. МУХА, асис., НУ«Львівська політехніка», Львів

ПОРІВНЯННЯ НЕЛІНІЙНОЇ ТА ЛІНІЙНОЇ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИПАРОВУВАННЯ

У статті проведено порівняльний аналіз нелінійної та лінійної математичних моделей процесу теплообміну з використанням випаровування рідини для інтенсифікації тепловідведення за критичних умов в електронних пристроях. Проведено порівняння результатів моделювання з використанням цих моделей при різних значеннях вхідних параметрів. Показано залежність точності розв'язку лінійної моделі порівняно із розв'язком нелінійної від вхідних параметрів, сформуовано рекомендації щодо використання моделей.

Ключові слова: теплообмін, випаровування, нелінійна модель, лінійна модель, моделювання.

В статье проведен сравнительный анализ нелинейной и линейной математических моделей процесса теплообмена с использованием испарения жидкости для интенсификации теплоотвода за критических условий в электронных устройствах. Проведено сравнение результатов моделирования с использованием этих моделей при различных значениях входных параметров. Показана зависимость точности решения линейной модели по сравнению с решением нелинейной от входных параметров, сформированы рекомендации по применению моделей.

Ключевые слова: теплообмен, испарение, нелинейная модель, линейная модель, моделирование.

In this article comparative analysis of the non-linear and linear mathematical models of heat transfer with using of liquid evaporation for heat dissipation intensification under critical conditions in microelectronic devices has been made. The modeling results comparison obtained for these models with different values of input parameters have been made. Precision dependence of the linear model solution comparative to the non-linear model solution on input parameters has been shown. Recommendations to model using have been given.

Key words: heat transfer, evaporation, non-linear model, linear model, simulation.

1. Постановка проблеми

Температурний режим мікроелектронних пристроїв є одним із найважливіших факторів, від яких залежить надійність пристрою [1]. Зростання тепловиділення накладає обмеження на потужність та швидкодію електронних пристроїв, тому важливою задачею є відведення тепла для забезпечення відповідного температурного режиму. Постійне збільшення тепловиділення в наслідок мікромініатюризації зумовлює постійну розробку нових та вдосконалення вже існуючих підходів до відведення тепла.

Швидке охолодження забезпечує один із сучасних підходів тепловідведення, при якому використовується зміна стану речовини з рідкого на газоподібний. При зміні агрегатного стану речовини відбувається відведення тепла у вигляді

захованої енергії пароутворення рідини. Використання випаровування рідини на поверхні тепловідводу дає можливість відводити значно більші потоки тепла, ніж при використанні конвекції.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Для проведення досліджень процесу теплообміну з використанням випаровування рідини на поверхні тепловідводу авторами [2-4] було побудовано нелінійну та лінійну моделі цього процесу. Виникає необхідність порівняння результатів моделювання з використанням цих моделей та визначення їх адекватності і меж застосування.

Лінійна модель процесу теплообміну з використанням випаровування за критичних умов в мікроелектронних пристроях (МЕП) описана у [3]. В роботі наведено аналітичний розв'язок пов'язаної з моделлю початково-крайової задачі. Нелінійна модель процесу теплообміну з використанням випаровування для інтенсифікації тепловідведення за критичних умов в МЕП наведена у роботі [4]

3. Мета дослідження

Метою дослідження є порівняльний аналіз нелінійної та лінійної математичних моделей процесу теплообміну з використанням випаровування рідини для інтенсифікації тепловідведення за критичних умов в електронних пристроях та визначення їх адекватності і меж застосування.

4. Основний матеріал

Нелінійна модель процесу теплообміну з використанням випаровування для інтенсифікації тепловідведення за критичних умов в МЕП описується такою системою диференціальних рівнянь в часткових похідних [4]

$$c_s \rho_s \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T_1}{\partial x} \right), \quad (1)$$

$$k \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=0} = -q_0'', \quad (2)$$

$$-k \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=D} = h(T(D, t) - T_\infty), \quad (3)$$

$$T_1(x, t = 0) = T_b. \quad (4)$$

$$c_s \rho_s \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T_2}{\partial x} \right), \quad (5)$$

$$k \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=0} = -q_0'', \quad (6)$$

$$-k \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=D} = h(T(D, t) - T_\infty) + h_{fg} \frac{M_A}{R \rho_a c_a} Le^{-\frac{2}{3}} \left(\frac{p_{A,sat}(T_2(D, t))}{T_2(D, t)} - \frac{p_{A,\infty}}{T_\infty} \right), \quad (7)$$

$$T_1(x, t = t_{cr}) = T_2(x, t = t_{cr}). \quad (8)$$

де $T_1 = T_1(x, t)$ – температура пластини в точці з координатою x , в момент часу t у звичайному режимі; k , c_s , ρ_s – коефіцієнт теплопровідності $[Вт/м \cdot К]$, питома теплоємність $[Дж/кг \cdot К]$ і густина $[кг/м^3]$ відповідно, q_{conv}'' – потік тепла,

який відводиться від поверхні за рахунок конвекції $[Вт/м^2]$, q_0'' – величина потоку тепла, який нагріває тіло $[Вт/м^2]$, T_b – початкова температура пластини $[K]$, h – коефіцієнт конвективного теплообміну з навколишнім середовищем $[Вт/м^2 \cdot K]$, h_{fg} – питома теплота випаровування рідини $[Дж/кг]$, M_A – молярна маса рідини $[кг/моль]$, R – універсальна газова стала, $p_{A,sat}(T(D,t))$, $p_{A,\infty}$ – тиск насиченої пари рідини біля поверхні поділу рідина газ при температурі T і тиск насиченої пари рідини в навколишньому середовищі при температурі T_∞ $[Па]$ відповідно, ρ_a – густина повітря, c_a – питома теплоємність повітря при сталому тиску, $Le = \alpha_a / D_{AB}$ – число Льюїса, α_a – коефіцієнт теплопровідності повітря, D_{AB} – коефіцієнт дифузії для двохкомпонентної суміші.

У випадку використання води гранична умова (7) має вигляд [4-5]

$$k \frac{\partial T}{\partial x} = h_{fg} h \frac{M_A}{R \rho_a c_a} Le^{\frac{2}{3}} \left(\frac{p_{A,sat}(T(D,t))}{T(D,t)} - \frac{\varphi \cdot p_{A,sat}(T_\infty)}{T_\infty} \right) + h(T(D,t) - T_\infty), \quad 9)$$

де φ – відносна вологість повітря.

Рівняння (9) містить доданок $p_{A,sat}(T_2(D,t))/T_2(D,t)$, тому воно є нелінійним, а отже нелінійною є й вся модель. Для лінеаризації моделі апроксимуємо $p_{A,sat}(T_2(D,t))/T_2(D,t)$ лінійною функцією вигляду $C_1 T_2 + C_2$. Коефіцієнти C_1 і C_2 знаходяться методом найменших квадратів.

При цьому гранична умова (9) набуде вигляду [3]

$$k \frac{\partial T}{\partial x} = h_{fg} h \frac{M_A}{R \rho_a c_a} Le^{\frac{2}{3}} \left(C_1 T + C_2 - \frac{p_{A,\infty}}{T_\infty} \right) + h(T(D,t) - T_\infty). \quad 10)$$

У випадку використання води вигляд граничної умови (10) буде таким:

$$k \frac{\partial T}{\partial x} = h_{fg} h \frac{M_A}{R \rho_a c_a} Le^{\frac{2}{3}} \left(C_1 T + C_2 - \frac{\varphi \cdot p_{A,sat}(T_\infty)}{T_\infty} \right) + h(T(D,t) - T_\infty). \quad 11)$$

Після лінеаризації отримаємо лінійну математичну модель (1 – 6, 8, 10), або у випадку використання води модель (1 – 6, 8, 11)

Розв'язок нелінійної моделі знайдено з використанням методу Рунге, для дискретизації модельної задачі по часу, та з використанням методу сіток і методу Ньютона-Канторовича.

З метою забезпечення коректності порівняння результатів моделювання з використанням двох моделей, було знайдено числовий розв'язок лінійної модельної задачі за допомогою методу сіток. При чисельному розв'язуванні було використано неявну схему Кранка-Ніколсона для забезпечення стійкості розв'язку.

5. Результати

При проведенні модельних експериментів використовувались декілька рідин з такими теплофізичними властивостями.

Етиловий спирт [6]:

$$h_{fg} = 846000 \quad [Дж/кг], \quad M_A = 0,04607 \quad [кг/моль], \quad p_{A,\infty} = 0, \\ D_{AB} = 1,05 \cdot 10^{-5} \quad [м^2/с] \quad [7].$$

Для апроксимації функції $p_{A,sat}(T(D,t))$ було використано вузли та значення тиску насичення (табл. 1) [8].

Таблиця 1. Залежність тиску насичення етанолу від температури

T[K]	273	283	293	303	313	323	333	343	353	363	373
p[Па]	1588	3137	5870	10469	17892	29436	46800	72154	108193	158196	226065

Ацетон [9]:

$$h_{fg} = 501000 \quad [\text{Дж/кг}], \quad M_A = 0,05808 \quad [\text{кг/моль}], \quad p_{A,\infty} = 0, \\ D_{AB} = 1,09 \cdot 10^{-5} \quad [\text{м}^2/\text{с}] \quad [7].$$

Для апроксимації функції $p_{A,sat}(T(D,t))$ було використано наступні вузли та значення тиску насичення (табл. 2) [8].

Таблиця 2. Залежність тиску насичення ацетону від температури

T[K]	273	283	293	303	313	323	333	343	353	363	373
p[Па]	9283	15413	24574	37798	56315	81549	115113	159544	215513	285700	372333

FC-72 [10]:

$$h_{fg} = 88000 \quad [\text{Дж/кг}], \quad M_A = 0,338 \quad [\text{кг/моль}], \quad p_{A,\infty} = 0, \quad D_{AB} = 1 \cdot 10^{-5} \quad [\text{м}^2/\text{с}].$$

Таблиця 3. Залежність тиску насичення FC-72 від температури

T[K]	273	283	293	303	313	323	333	343	353	363	373
p[Па]	10171	16201	25000	37487	54775	78178	109221	149645	190045	266667	347802

FC-87 [11]:

$$h_{fg} = 103000 \quad [\text{Дж/кг}], \quad M_A = 0,288 \quad [\text{кг/моль}], \quad p_{A,\infty} = 0, \quad D_{AB} = 1 \cdot 10^{-5} \quad [\text{м}^2/\text{с}].$$

Таблиця 4. Залежність тиску насичення FC-87 від температури

T[K]	273	283	293	303	313	323	333	343
p[Па]	27019	42858	65875	98421	143322	203906	284021	388043

Вода [5]:

$$h_{fg} = 2257000 \quad [\text{Дж/кг}], \quad M_A = 0,01801 \quad [\text{кг/моль}], \quad p_{A,\infty} = 2617, \\ D_{AB} = 2,6 \cdot 10^{-5} \quad [\text{м}^2/\text{с}], \quad \varphi = 0,5.$$

Таблиця 5. Залежність тиску насичення води від температури

T[K]	295	305	315	325	335	345	355	365	373	383	393	403
p[Па]	2617	4712	8132	13510	21670	33720	51000	75140	101330	143696	199569	272213

Матеріал тепловідвідної пластини – мідь:

$$k_s = 401 \quad [\text{Вт/м} \cdot \text{К}], \quad c_s = 8933 \quad [\text{Дж/кг} \cdot \text{К}], \quad \rho_s = 385 \quad [\text{кг/м}^3].$$

В усіх модельних експериментах використовувались такі значення початкової температури, температури навколишнього середовища, товщини тепловідводу, потоку тепла та критичної температури:

$$T_b = 293 \text{ }^0K, T_{\infty} = 293 \text{ }^0K, D = 0,01 \text{ м}, q_0'' = 100000 \text{ [Вт/м}^2\text{]}, T_{cr} = 323.$$

Результати моделювання теплообміну з врахуванням впливу випаровування різних рідин на тепловідведення отримані з використанням лінійної та нелінійної моделей представлені на рис. 1. На рис. 1 представлено зміну температури тепловідвідної пластини з часом в точці $x = 0$, оскільки в цій точці температура пластини є максимальною. При моделюванні використано середнє значення коефіцієнту конвективного теплообміну $h = 120 \text{ [Вт/м}^2 \cdot K\text{]}$ для режиму вимушеної конвекції [5]. При моделюванні з застосуванням лінійної моделі в результаті апроксимації нелінійної функції лінійною за допомогою методу найменших квадратів отримано значення констант для вказаних рідин (табл. 6):

Таблиця 6. Значення констант для лінійної апроксимації

Рідина	Етанол	Ацетон	FC-72	FC-87	Вода
C_1	5,44955516	9,25261662	8,562930299	14,3884302	4,53171
C_2	-1585,7451	-2630,7	-2427,41821	-3947	-1357

Розрахунки показали, що для різних рідин точність результатів моделювання теплообміну з врахуванням впливу випаровування отриманих з використанням лінійної моделі відрізняється. При вказаних вище значеннях вхідних параметрів найбільш неточним виявився результат у випадку використання води, де в момент часу $t = 60 \text{ с}$ різниця між значеннями температури отриманими лінійним і нелінійним методами склала більше 20 ^0K .

Тому при використанні лінійної моделі отримання задовільних результатів при випаровуванні однієї рідини не дає можливості стверджувати, що задовільні результати будуть отримані в процесі моделювання теплообміну з врахуванням впливу випаровування іншої рідини.

В результаті аналізу виявлено, що точність розв'язку, отриманого з використанням лінеаризованої моделі, залежить від того, які вузли використовуються при апроксимації нелінійної функції лінійною. Константи отримані для апроксимації нелінійної функції лінійною при використанні значень у різних вузлових точках наведені у табл. 7, 8

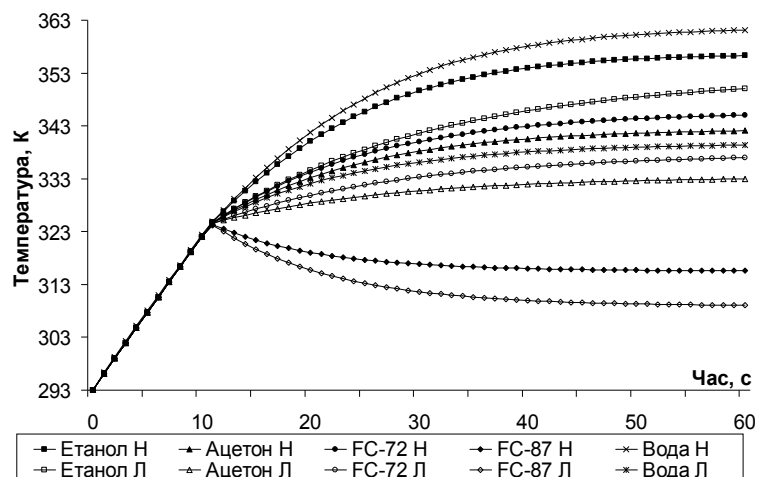


Рис. 1. Зміна температури тепловідводу при використанні різних рідин для охолодження з використанням випаровування Н – нелінійна модель, Л – лінійна

Таблиця 7. Вузли і отримані значення констант для FC-72

Темпр.	273	283	293	303	313	323	333	343	353	363	373	C_1	C_2
Апр.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	8,56	-2427
Апр.2		X	X	X	X	X	X	X				6,21	-1739
Апр.3			X	X	X	X	X	X	X			7,97	-2296
Апр.4					X	X	X	X	X	X	X	12,5	-3799
Апр.5							X	X	X	X		13,5	-4195

Таблиця 8. Вузли і отримані значення констант для FC-87

Темпр.	273	283	293	303	313	323	333	343	C_1	C_2
Апр.1	X	X	X	X	X	X	X	X	14,38843016	-3947
Апр.2		X	X	X	X	X	X	X	16,07956241	-4493
Апр.3			X	X	X	X	X	X	17,97180646	-5111
Апр.4					X	X	X	X	22,41902111	-6585
Апр.5	X	X	X	X	X	X			10,51698475	-2819

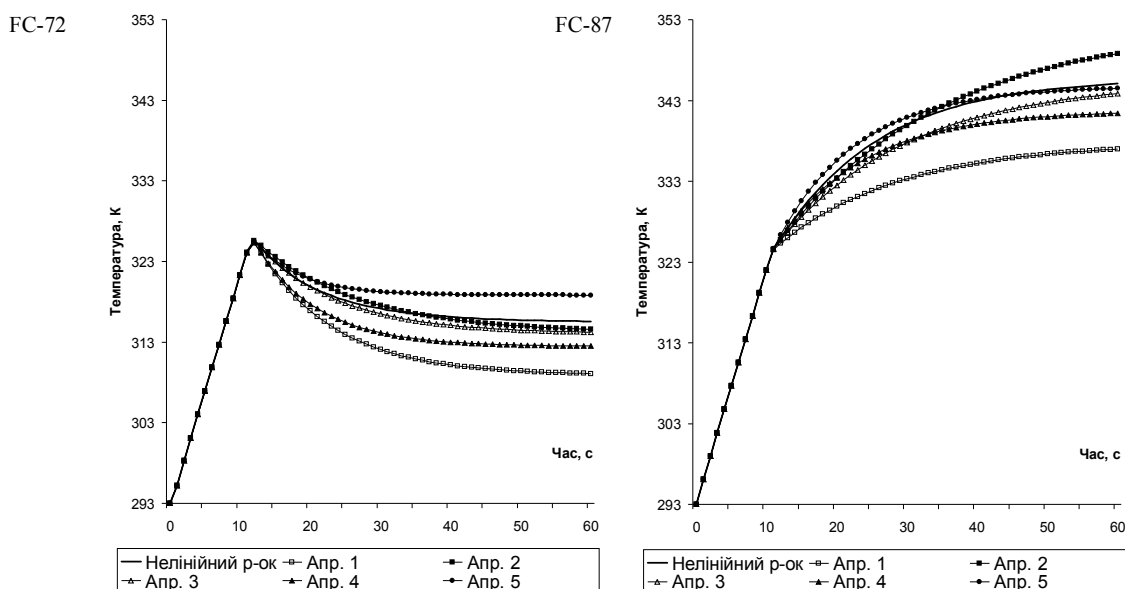


Рис. 2. Розв'язки задачі теплопровідності при використанні різних апроксимацій

Розрахунки показали (рис. 2), що точність розв'язку для лінеаризованої моделі порівняно з розв'язком для нелінійної моделі, який отриманий нелінійним методом, залежить від вибору вузлів, які використовуються для апроксимації нелінійної функції лінійною. При чому, якщо для FC-72 найточнішим є розв'язок з використанням апроксимації 5, то для FC-87 найточнішим є розв'язок з використанням апроксимації 2.

Висновки

В результаті числових експериментів виявлено, що точність розв'язку з використанням лінеаризованої моделі змінюється в залежності від значень

багатьох параметрів. Тому в загальному випадку краще використовувати нелінійну модель для моделювання процесу теплообміну з врахуванням впливу випаровування за критичних умов. Лінеаризовану модель варто використовувати у випадках, коли виникає необхідність мінімізувати час обчислень та обчислювальні затрати за рахунок зменшення точності.

Список літератури: 1. Федасюк Д. В. Методи та засоби теплового проектування мікроелектронних пристроїв / Д. В. Федасюк. – Львів: Видавництво Державного університету “Львівська політехніка”, 1999. – 228 с. 2. Федасюк Д.В. Моделювання теплообміну з урахуванням випаровування на поверхні пластини / Федасюк Д.В., Муха Т.О. // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Комп’ютерні науки та інформаційні технології. - 2009. - № 650. - С.151–158. 3. Федасюк Д.В. Дослідження впливу випаровування і конвекції на процес відведення тепла з поверхні пластини / Федасюк Д.В., Муха Т.О. // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Комп’ютерні науки та інформаційні технології. - 2010. - № 686. - С.255-264. 4. Fedasyuk D. Non-linear transient heat exchange with taking into account evaporation problem solving / Dmytro Fedasyuk, Taras Mukha // Proceedings of the International Conference MEMSTECH’2011. –Polyana, 2011. - P.202–204. 5. Incropera F.P. Fundamentals of heat and mass transfer / F.P. Incropera, D.P. DeWitt, T.L. Bergman, A.S. Lavine; 6th ed. - New York: John Wiley & Sons, 2007. - 925p. 6. Ethanol (CH₃CH₂OH; Ethyl Alcohol) [Електронний ресурс] / MatWeb, LLC. – Режим доступу :<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=672641fab584f8e85bc873b5817c68b>. 7. Справочник химика / Под ред. Б. П. Никольского; 2-е изд. - М.: «Химия», 1965. - т. 3. - 914-916с. 8. Environmental Models. Free Tools. Vapour pressure calculation [Електронний ресурс] / Environmental Models – Режим доступу :<http://www.envmodels.com/freetools.php?menu=pression&action=send&lang=en> 9. Acetone (CH₃COCH₃; 2-Propanone) [Електронний ресурс] / MatWeb, LLC. – Режим доступу : <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=1f9fd4a5357e428f9a82e750f4fbbf0e>. 10. Fluorinert Electronic Liquid FC-72. Product Information [Електронний ресурс] / 3M. – Режим доступу: <http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?66666UuZjcFSLXTtnxTE5XF6EVuQEcuZgVs6EVs6E666666>. 11. Fluorinert Electronic Liquid FC-87. Product Information [Електронний ресурс] / 3M. – Режим доступу : http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UuZjcFSLXTtnxTE5x6EVuQEcuZgVs6EVs6E666666--&fn=prodinfo_FC87.pdf.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 330.341.1

О.М. КИТЧЕНКО, асист., НТУ «ХПІ», Харків

В.Л. КАВЕРЦЕВ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ», Харків

ДО ПИТАННЯ ПРО ОПТИМАЛЬНИЙ РІВЕНЬ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В статті розглядаються питання співвідношення централізації – децентралізації енергозабезпечення промислових підприємств. Розглядаються централізовані та децентралізовані системи енергопостачання. Надаються переваги та недоліки кожної з систем. Виділяються фактори, які впливають на вибір джерела енергозабезпечення.

Ключові слова: централізація, децентралізація, промислове підприємство, конкурентоспроможність, управління.

В статье рассматриваются вопросы соотношения централизации – децентрализации энергообеспечения промышленных предприятий. Рассматриваются централизованные и децентрализованные системы энергоснабжения. Приводятся достоинства и недостатки каждой из систем. Выделяются факторы, которые влияют на выбор источника энергообеспечения.

Ключевые слова: централизация, децентрализация, промышленное предприятие, конкурентоспособность, управление.

In the article the questions of correlation of centralization - decentralizations of energy supply of industrial enterprises are considered. The centralized and decentralized systems of energy supply are considered. Merits and demerits of each system are estimated. Factors that influence at choice of source of energy supply are marked.

Keywords: centralization, decentralization, industrial enterprise, competitiveness, management.

1. Вступ

Питання централізації - децентралізації мають суттєве значення для забезпечення надійності функціонування будь-якої системи і підвищення її ефективності, у тому числі й економічної. Проблема оптимальності рівня централізації існує фактично в кожній системі – соціальній, економічній, організаційній та ін. І вона має не суто технічний характер, фактично це – проблема ефективності управління в широкому розумінні цього слова.

2. Формулювання цілей роботи

На наш погляд, питання, що стосуються співвідношення цих двох рівнів саме в енергозабезпеченні підприємств є не досить розглянутими. В кожний конкретний проміжок часу погляди авторів схилиються або в бік децентралізації, або знов стають на сторону централізованої системи. Досі немає чітко визначеної відповіді на запитання, який з цих двох шляхів є вірним, або більш прийнятним, тому ця тема має актуальний характер.

Дослідженню проблем співвідношення централізації і децентралізації в управлінні присвячені роботи Н.Р. Нижника, М.В. Харитончука, Б. Гурне, В.Ф. Колісниченка, Д. Стоун, І.Б. Гоптарьова, М.С. Солодка, В.В. Карпенко,

І.Г. Гащо, І.А. Башмакова, В.М. Пшеничникова, В.Г. Шкуридіна та ін. Ці автори розглядають недоліки та переваги кожного з зазначених шляхів та їх співвідношення. Метою цієї роботи є дослідження області проблем, які розглядаються при співвідношенні централізації – децентралізації енергопостачання (рис.



Рис. 1. Область проблем що розглядаються при співвідношенні централізації – децентралізації енергопостачання

1).

3. Результати

Питання про розвиток децентралізованих систем енергоспоживання виникло у зв'язку зі світовою енергетичною кризою 70 -х років, коли основна маса західноєвропейських держав сконцентрувала свої зусилля на підвищенні ефективності систем енергопостачання і розвитку децентралізованих джерел енергії. В Україні ці питання стали гостро проявлятися з середини 90-х років, коли скорочення чисельності промислових споживачів, а також відсутність коштів, на забезпечення життєдіяльності централізованих систем енергопостачання відкрило їх недостатню ефективність в нових ринкових умовах. Відтак виникло питання оптимізації теплоспоживання і збільшення долі децентралізованих джерел, з використанням нетрадиційних поновлюваних джерел енергії в схемах енергопостачання підприємств.

Проте, констатування повної неефективності централізованих джерел, як таких, є невірним. Існуючий досвід розвинених країн і зокрема Данії, доводить зворотнє. Централізовані системи можуть бути економічно ефективними, проте, ця ефективність визначається безліччю критеріїв і чинників, а також умовами, в яких працює підприємство. Тому для більшої чіткості розуміння ефективності застосування централізованих чи децентралізованих джерел, необхідно зрозуміти всі переваги та недоліки цих систем, а в подальшому необхідно проводити економічні розрахунки ефективності кожного з напрямів.

Для того щоб визначити, який рівень є найбільш прийнятним для того чи іншого підприємства необхідно більш детально розглянути, що уявляє собою централізація і децентралізація енергопостачання, які вони мають переваги та недоліки, та надати оцінку кожному з цих напрямків. Також необхідно розглянути критерії, які дають змогу оцінити кожний з варіантів з економічної точки зору, для кожного окремого підприємства.

Якщо розглядати цю проблему не тільки з суто економічного боку, то спочатку треба розглянути, що уявляють собою ці два напрями з точки зору управління.

Під централізацією та децентралізацією розуміються і властивість, і принцип, і елемент державного управління, а також ті властивості його певних етапів, що не залежать від керованих. Таке визначення централізації та децентралізації з точки зору управління надається Н.Р. Нижником [1, с.15].

Б.З Мільнер стверджує, що термін «централізація» відноситься до ступеня зосередження прийняття рішень в одних руках, що пов'язано з формальною владою.

С. Сироткін [2] стверджує, що децентралізація інтерпретується, як процес передачі відповідальності за планування та реалізацію ресурсного забезпечення, розподілу та інших компонентів процесу соціального управління від центрального уряду та його агентств і відомств к тим, що стоять нижче, державним та іншим структурам публічної влади.

Згідно з В.Ф. Колісниченко [3] децентралізація «необхідна тоді, коли система стає динамічною, різноманітною і схильною до змін».

Розглянемо, що уявляють собою централізація та децентралізація з точки зору енергопостачання.

Відомо, що систему централізованого теплопостачання складає комплекс пристроїв, призначених для підготовки, транспорту і використання теплоносія. У таких системах джерело теплової енергії і теплоприймальні пристрої споживачів розміщені окремо, часто на значній відстані, тому передача теплової енергії з теплоносієм від джерела до споживача відбувається за допомогою теплових мереж. [4]

За типом джерела тепла системи централізованого теплопостачання розділяють на районне теплопостачання і теплофікацію. При районному теплопостачанні джерелом тепла є районна котельня, а при теплофікації – ТЕЦ (теплоелектроцентрально) [5]. Основний принцип економії енергії при використанні централізованого джерела тут полягає в комбінованому виробленні електричної і теплової енергії.

У децентралізованих системах джерело теплової енергії і теплоприймальні пристрої споживачів поєднані в одному агрегаті або розміщені так близько, що передача теплоти від джерела до теплоприймаючих пристроїв може проводитися без проміжної ланки - теплової мережі. [4] Іншими словами, децентралізація дає змогу відмовитися від впровадження великих за потужністю та значними за обсягами, вкладених коштів, об'єктів, що здійснюють постачання тепла чи енергії, в бік невеликих за розмірами та вартістю об'єктів, що забезпечують таку саму якість та надійність енергозабезпечення.

Для визначення доцільності того чи іншого напрямку необхідно проаналізувати переваги та недоліки усіх варіантів.

Таблиця №1. Переваги та недоліки централізованої системи

Переваги	Недоліки
З точки зору управління	
Існування єдиного координаційного та контролюючого центру	Велика кількість часу витрачається на прийняття рішень
Легкість у прийнятті законів	Нездатність оперативно реагувати на негайні потреби
Кваліфікація та досвід роботи кадрів	Нездатність адміністративного апарату пристосовуватися до нових ринкових умов, що швидко змінюються
Налагоджена система управління	Система тарифів не відповідає структурі витрат на енергопостачання (не враховується сезонність, не враховується віддаленість споживача від джерела енергії)
Скорочення службових витрат	
	Необхідні величезні фінансові вливання на реконструкцію
З точки зору технології	
Можливість раціонального використання палива та досягнення синергійного ефекту	Технічна недосконалість не дає змогу враховувати різноманітні потреби та інтереси підприємств
Використовує технології чистого спалення палива	Відсутня можливість постійного, рівномірного виконання своїх зобов'язань,

	при наданні послуг
	Зношеність та довжина теплотрас
	Відсутність оновлення основних засобів
	Застарілі технологічні рішення
	Втрати при розподіленні тепла та енергії

Таблиця №2. Переваги та недоліки децентралізованої системи

Переваги	Недоліки
З точки зору управління	
Дозволяє оперативно реагувати на негайні потреби підприємств	Відсутність чіткої законодавчої бази
Великий рівень автоматизації не потребує значної кількості персоналу, що дозволяє економити кошти	Мала кількість спеціально підготовленого персоналу
Легкість в залученні інвестицій	
Рішення про кількість та якість ресурсів приймає сам споживач	
Система стає більш керованою, виникає зрозумілий і чіткий рівень відповідальності	
З технічної точки зору	
Застосовується найпереводіші технології та обладнання	Залишаються не вирішеними екологічні проблеми
Автоматика дає можливість в кожному конкретному випадку прилаштовуватися під споживача	Обсяги енергії, що виробляється, мають певні обмеження
Швидкий пуск до експлуатації	Більша частина кваліфікованих технічних рішень є західними науковими розробками
Не виникає необхідність використання землі під теплові траси	
Джерелом палива може виступати будь які види палива та енергії	

Для будь-якого підприємства завжди існує проблема вибору: використання централізованого або децентралізованого джерела енергії. Вибір такого джерела може залежати від ряду факторів:

1. Розмір підприємства;
2. Тип продукції, що випускається (спеціалізація, диверсифікація);
3. Галузеві особливості;
4. Сезонність попиту на продукцію;
5. Рівень відповідальності;
6. Обсяги та види енергії, що споживається;
7. Форма власності.

На додаток до сказаного необхідно враховувати вплив науково-технічного прогресу і чинника часу на оптимальний рівень централізації, оскільки зміни у внутрішньому і зовнішньому середовищі об'єкту дослідження призводять до зміни економічних та інших параметрів оцінки ефективності самої системи.

Зі змінами в техніці, технології виробництва і управління змінюються і співвідношення "централізація – децентралізація". Наприклад, з появою комп'ютерних систем були розроблені і впроваджені системи управління "on-line", в

реальному часі, що підвищило оперативність управління, а також значно розширило область управлінських рішень, тобто по суті - підвищило рівень централізації управління.

З іншого боку, можливість отримання і використання інформації через Internet, приводить також до підвищення якості управлінських рішень на усіх рівнях і до скорочення кількості управлінського персоналу.

Відносно промисловості, можна говорити про те, що співвідношення централізованих і децентралізованих джерел постачання електроенергії і тепла не є оптимальним, і ці проблеми вимагають свого рішення. Особливо актуальним стає визначення чітких критеріїв ефективності тієї або іншої системи.

Річ у тому, що в Україні історично склалася ситуація, коли переважали централізовані джерела виробництва електроенергії і тепла. Енергетика орієнтувалася на велике промислове виробництво з величезними потребами. Для такої структури споживання високоцентралізоване забезпечення електроенергією і теплом є доцільно обґрунтованим як технічно так і економічно. Дійсно, при величезних об'ємах споживання собівартість одиниці продукції (кВт/г, Гкал/г) знижувалася в порівнянні з децентралізованим виробництвом за рахунок зниження постійних витрат. Крім того, внутрішня ефективність електроенергетичного виробництва на великих електростанціях і теплогенеруючих підприємствах була вища, ніж на окремих, локальних установках, а це у свою чергу, призводило до зниження прямих витрат – паливної складової в собівартості. До того ж, якщо відносно теплопостачання ще розглядалися альтернативні варіанти (наприклад, місцеві котельні), то для виробництва електроенергії альтернативи не було зовсім.

Нині ситуація радикально змінилася, і говорити про монопольне виробництво електроенергії і тепла не можна. Причин цьому декілька.

По-перше, у зв'язку із спадом промислового виробництва і прямою залежністю обсягів випуску продукції від ринкової ситуації, значно підвищуються вимоги до мобільності джерел енергопостачання, а звідси і перевага автономних джерел тепла і енергії.

По-друге, нові конструкторські рішення, технології, новітні системи управління і регулювання виробництва дозволили значно підняти рівень якості автономних енергогенеруючих установок і розширити номенклатуру можливих рішень цієї проблеми. Наприклад, газові двигуни фірми "Man" мають діапазон потужності від 0,5 МВт до 12 МВт і ККД більше 90%.

По-третє, у зв'язку з ринковими умовами, що різко змінюються, під впливом зовнішніх чинників, перед підприємствами постійно виникають проблеми швидкого прийняття рішень. Отже, оперативні плани, пов'язані з обсягами виробництва продукції, повинні постійно коригуватися. У зв'язку з цим виникає проблема швидкого коригування кількості енергії, яка поступає для технологічних цілей. Для підприємства виникає питання, пов'язане з самостійною експлуатацією і виробленням необхідної кількості енергії.

На сьогодні, проблема полягає в тому, що великі споживачі не потребують відмови від централізованої системи енергопостачання. Основним чинником, що обумовлює перехід підприємств до децентралізованої системи, є ринкові умови. У такій ситуації кожне підприємство розглядає для себе питання пріоритетів. Якщо говорити про галузі легкої промисловості, такі як харчова, швацька, то тут питання ринкової конкуренції постають дуже жорстко. Тут практично повністю відсутня

підтримка з боку держави, тому підприємства усіма силами намагаються скоротити енергетичну складову в собівартості готової продукції.

Останніми роками в Україні, дуже швидкі темпи розвитку показали малі підприємства, отже, можна припустити, що ці підприємства накопили істотний резерв обігових коштів на впровадження таких проектів. На дрібних підприємствах масштабність таких проектів, звичайно ж, менша, ніж на великих і навіть середніх. Отже, терміни окупності проектів скорочується, в зв'язку, з чим збільшується вірогідність отримання цими підприємствами кредитів на подальше здійснення програм з енергозбереження. Також малі підприємства мають більшу гнучкість, мобільність і варіативність при розрахунках, пов'язаних з постачанням сировини і матеріалів, готовій продукції і т.п., отже, період обігу тут нижчий, ніж у великих підприємств з трудомісткими і тривалими за часом циклами робіт. Відтак, можна говорити, про чинник часу, як про істотний критерій, який впливає на співвідношення централізації – децентралізації.

Висновки

Отже, для великих підприємств в цій ситуації, основним джерелом подальшого розвитку буде держпідтримка, без якої, ці підприємства зможуть самотійно здійснювати лише заходи технологічного характеру, і за рахунок їх показувати економію енергетичних ресурсів. Компетенцією держави є повний перегляд системи роботи цих підприємств. І якщо дії в цьому напрямку будуть відсутні, такі підприємства не зможуть продовжувати конкурувати в сучасних ринкових умовах.

Список літератури: 1. Державне управління в Україні: централізація і децентралізація [Текст] : монографія / кол. авт. ; відпов. ред. Н. Р. Нижник. – К. : УАДУ при Президентові України, 1997. - 448 с. 2. Не путать федерализм с бюрократической централизацией [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.hrighs.ru/text/b12/Chapter12.htm> — Загл. с экрана. 3. Колесніченко, В. Ф. Інвестиційне забезпечення інноваційної діяльності підприємств [Текст] : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.06.01 / В. Ф. Колесніченко ; [Харківський національний економічний ун-т] . – Х., 2006. – 25 с. 4. Финансирование энергосберегающих проектов в российском коммунальном теплоснабжении [Электронный ресурс] / Немецкое энергетическое агентство, Фонд «Институт экономики города». — Режим доступа : http://escosys.narod.ru/2010_3/art037.pdf — Загл. с экрана. 5. Шаров, Ю. И. Парогазовые установки в системах централизованного теплоснабжения [Текст] : учеб, пособие / Ю. И. Шаров, И.В. Бородихин ; — Новосибирск, 2003. — 91 с. 6. Бланк, И. А. Инвестиционный менеджмент [Текст] : учеб, курс / И. А. Бланк. — К. : Ника-Центр, 2001. — 448 с. 7. Комаринський, Я. Фінансово-інвестиційний аналіз [Текст] : навч, посібник / Я. Комаринський, І. Яремчук ; — К. : Укр. енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1996. — 299 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 631.2

А. П. СЛЕСАРЕНКО, докт. физ.-мат. наук, профессор, вед. науч. сотр., ИПМаш НАН Украины им. А.Н. Подгорного, Харьков
А. С. СОРОКА, канд. физ.-мат. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ВОЗДУШНЫХ ЗОН ПОМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Уперше запропонована методологія регіонального в часі перетворення дискретних даних контрольно-вимірювальних систем щодо теплових процесів в повітряних зонах приміщень в регіонально-аналитичну інформацію по координатам та часу. Запропонований підхід потребує незначного об'єму оперативної пам'яті мікро-ЕОМ та дозволяє реалізувати не тільки оптимальне керування тепловими режимами, але й дистанційний контроль теплового стану об'єкту.

Ключові слова: енергозбереження, ідентифікація параметрів мікроклімату, регулярний режим теплопровідності, регіонально-аналітична інформація.

Впервые предложена методология регионального во времени преобразования дискретных данных контрольно-измерительных систем о тепловых процессах в воздушных зонах помещений в регионально-аналитическую информацию по координатам и времени. Предложенный подход требует незначительного объема оперативной памяти микро-ЭВМ и позволит осуществить не только оптимальное управление тепловыми режимами, но и дистанционный контроль теплового состояния объекта.

Ключевые слова: энергосбережение, идентификация параметров микроклимата, регулярный режим теплопроводности, регионально-аналитическая информация.

For the first time the methodology of regional transformation in time of the discrete data of control and measuring systems about thermal processes in air zones of premises in regional-analytics information on coordinates and time is offered. The offered approach demands insignificant volume of operative memory of the micro-computer and will allow to carry out not only optimum control of thermal modes, but also remote control of a thermal condition of object.

Keywords: power savings, identification of microclimate parameters, regular mode of heat transfer, regional-analitical information.

Постановка проблеми. Рост цен на энергоносители при постоянном росте их дефицита выдвигает требования жесткого контроля энергопотребления во всех энергоемких процессах. Одним из таких секторов потребления является отопление промышленных, гражданских и жилых зданий. Рациональное использование энергоресурсов и энергосбережение в современных условиях достаточно частых и резких колебаний параметров климата не может быть выполнено только за счет повышения капитальных затрат на обеспечение высокой теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений. Задачи повышения энергоэффективности зданий и сооружений могут быть решены, в том числе, и на основе современных информационных технологий и компьютерных систем управления [1]. Применение информационных технологий к реальным данным о сравнительно медленных переходных процессах установления теплового режима помещений при изменении внешних тепловых условий позволит при использовании определенного набора априорных данных и математической тепловой модели помещения получить управляющие функции для системы обогрева.

Многопараметровость задач отопления и сложность получения их решения в аналитическом виде, трудоемкость и дороговизна натурных экспериментальных исследований объясняют тот факт, что в настоящее время отсутствует необходимый объем данных для оптимального проектирования рассматриваемых систем обогрева даже для случая стационарного режима. Таким образом, научные исследования, посвященные решению данной проблемы, являются актуальными.

Анализ исследований и публикаций. Системный анализ отечественных и зарубежных источников, посвященных данной проблеме, показывает рост применения электроотопления. Сдерживают развитие и внедрение электроотопления, например, "теплым полом", недостаточная изученность процессов теплопередачи в энергоаккумулирующих структурах. Как следствие, отсутствует расчетная и нормативная база для широкого применения рассматриваемых прогрессивных технологий. Значительные результаты в решении указанных проблем получены Д. И. Розинским, П. Г. Круковским и другими авторами [2,3] применительно к кабельным системам электротеплоаккумуляционного отопления.

Наряду с кабельными технологиями обогрев пола в промышленных помещениях различного назначения может быть осуществлен системой специальных электронагревателей трубчатого типа, описанных в работах [4-6], где обоснована актуальность задачи управления энергопотоками в таких нагревательных системах (НС). Реализация таких технологий позволит обеспечить заданные температурные режимы обогреваемых помещений различного функционального назначения при любых колебаниях параметров наружного климата.

Комплексное решение проблемы управления тепловыделением нагревателями НС с целью поддержания заданного уровня обогрева поверхности пола и прилегающей к ней воздушной области требует, чтобы система управления была способна оперативно производить диагностику и прогнозирование температурного поля рабочей зоны в любой момент времени. Это связано с необходимостью контроля изменений характеристик воздушных потоков во всем объеме помещения, обусловленных естественной и принудительной конвекцией, которыми сопровождается производственно-технологический процесс в помещении. Также необходима достоверная информация о температуре воздуха над поверхностью пола для корректного учета изменяющихся условий конвекции при комплексном моделировании системы нагреватель – воздушная среда и выработке сигналов, предназначенных для управления энергопотоками в НС.

Цель работы. Разработка теоретико-экспериментального подхода, позволяющего оперативно решать вопросы диагностики и прогнозирования температурных полей рабочих зон производственных помещений, а также обоснование возможности рационального размещения сети термодатчиков в припотолочной области, свободной от оборудования и персонала, без потерь полноты оперативной информации о температурных полях воздушной среды помещения.

Основные материалы исследования. Поверхность пола помещения контактирует с воздушной средой, где имеют место колебания температуры, обусловленные рядом возмущающих факторов. Прежде всего – это изменение погодных условий, которые при существующей степени теплозащиты зданий значительно влияют на температурный режим помещения, во-вторых – обязательное для рассматриваемых помещений вентилирование, в-третьих – количество тепловыделяющих объектов. Например, для животноводческих

помещений средняя температура воздушной среды отапливаемого помещения в осенне-зимний период при содержании КРС разных возрастных групп, должна поддерживаться в пределах 5-6°C...18-20°C, для свинарников – 16-18...32-39°C [7]. Однако, в ограниченных областях поверхности пола изменение условий теплоотдачи в воздушную среду может приводить к отклонениям температуры пола от заданной номинальной, особенно в холодный период. Поэтому при равномерном режиме нагрева НС температура пола оказывается разной в разных частях рабочей области помещения, что крайне нежелательно из-за отклонений от стандарта, предусматривающего поддержание заданного нормативного значения температуры в пределах 1°C. Традиционные системы микроклимата животноводческих помещений с подогревом вентилируемого воздуха не обеспечивают необходимую точность поддержания стандартных температурных условий в рабочих зонах.

Предлагаемое устройство НС [4] позволяет обеспечить не только термостабилизацию поверхности пола, но и дифференцированный нагрев путем секционирования нагревательных элементов НС [5]. Для управления нагревом секций НС необходимо знать температуру среды непосредственно над поверхностью пола (вблизи) данной секции. Прогнозирование ее величины расчетным путем не представляется возможным ввиду большого количества неконтролируемых воздействий на тепловой режим воздушной среды. Текущую информацию о состоянии воздушной среды может обеспечить многоканальная система температурных датчиков, установленных над секциями НС по всей площади помещения.

Для отыскания температурного профиля воздушной среды между поверхностью пола и потолочным перекрытием построим упрощенную физическую модель теплопередачи воздушного слоя над равномерно нагретой поверхностью пола помещения, которая бы учитывала и поперечное движение воздуха (конвекция по высоте помещения) и продольное, параллельное полу. Относительно медленные движения воздушных масс в помещениях подчиняются уравнению энергии:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + \vec{v} \cdot \text{grad} T = a \Delta T. \quad (1)$$

Для одномерной модели теплообмена в воздушном слое над НС примем такие допущения: а) поперечные движения воздуха отсутствуют, единственной отличной от нуля компонентой скорости частиц воздуха является поперечная компонента $v_x = v$, ориентированная по оси ОХ (по нормали к поверхности НС); б) зависимость температуры от времени отсутствует. Будем считать, что скорость в воздушном промежутке не постоянна. Примем квадратичную зависимость скорости по координате "х": $v(\xi) = 4v_0(\xi - \xi^2)$, где $v_0 = v(0.5)$ – значение скорости в сечении $x = 0.5$. В соответствии с уравнением энергии (1) температурная модель рассматриваемого слоя будет иметь вид:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial \xi^2} = \gamma \cdot (\xi - \xi^2) \frac{\partial t}{\partial \xi}; \quad t|_{\xi=0} = t_n, \quad t|_{\xi=1} = t_{mn}, \quad (2)$$

где $t = t(\xi)$ – температура в области воздушного слоя, $\xi = x/H$ – нормированная координата по высоте помещения, $0 \leq x \leq H$ – область воздушного слоя; $\gamma = 4\nu_0 Ha^{-1}$ – безразмерный конвективный параметр задачи, $a = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ – коэффициент температуропроводности воздуха при температуре 10°C и нормальном давлении; t_n – температура поверхности пола, t_{nn} – температура нижней поверхности потолочного перекрытия.

Определим величину γ через среднюю на интервале $0 \leq \xi \leq 1$ скорость конвекции $\nu_{cp} = (4/3)\nu_0$, при этом $\gamma = (3Ha^{-1}) \cdot \nu_{cp}$. Задавая характерные для помещений значения времени установления (за счет конвекции) $t_1 = 10$ ч, $t_2 = 15$ ч, $t_3 = 20$ ч, $t_4 = 25$ ч, определим значения безразмерного конвективного параметра: $\gamma_1 = 37.5$, $\gamma_2 = 25$, $\gamma_3 = 18.8$, $\gamma_4 = 15$.

Решение уравнения (2) с переменным коэффициентом перед первой производной представим через неопределенный интеграл:

$$t(\xi, \gamma) = C_2 + C_1 \int F(\xi, \gamma) d\xi, \quad (3)$$

где подынтегральная функция имеет вид:

$$F(\xi, \gamma) = \exp \left[\gamma \left(\frac{\xi^2}{2} - \frac{\xi^3}{3} \right) \right]. \quad (4)$$

Константы C_1 , C_2 в (5) должны быть определены из граничных условий (2). Анализ решения показывает, что при учете лишь вертикального движения воздуха модель конвекции с поверхности пола дает температурное распределение экспоненциального характера только вблизи потолочного перекрытия, вблизи поверхности пола температура изменяется незначительно. Если же температуры поверхности пола и перекрытия одинаковы ($t_n = t_{nn}$), то в рассматриваемой модели температура оказывается постоянной по высоте. Из-за неизбежных в помещении воздушных потоков имеет место отток тепла в направлениях параллельно поверхности пола, который приводит к заметному «провалу» температуры в среднем сечении ($x=H/2$), оставаясь слабо возмущенным вблизи стенок из-за эффекта вязкого трения.

Имея это в виду, примем рабочую гипотезу для модели конвективного теплопереноса, которая состоит в том, что температурный профиль по высоте помещения имеет квадратичный характер. Таким образом, если на рассчитанный профиль температуры $t(\xi, \gamma)$ наложить квадратичную функциональную поправку $A \cdot (x^2 - x)$, получим распределение, близкое к реальному:

$$t_{result} = t(\xi) + A \cdot (\xi^2 - \xi). \quad (5)$$

Величину коэффициента A в (4) следует определять из дополнительных условий, например, по показаниям датчика температуры в среднем сечении $x=H/2$ рассматриваемого помещения.

В табл. 2 представлен ряд характерных температурных режимов подвижного воздушного слоя для различных помещений: 1, 2, 3 – животноводческие помещения, 4 – тепловой режим для жилого помещения при оптимальных условиях отопления [3].

Таблица 1 – Температурные режимы подвижного воздушного слоя

№ $t, ^\circ\text{C}$	1	2	3	4
t_{nn}	6	11	12	16
t_{cp}	9.5	13.8	16.5	20.8
t_n	14	19	22	26

Значение температуры t_{cp} соответствует среднему сечению $x=H/2$. На рис. 1 представлены профили распределения температуры в помещении для типовых температурных режимов из табл. 1. На рис. 2 показаны профили температуры для случаев поперечного движения воздуха для 4-х конвективных параметров γ для ряда соотношений температур t_{cp}, t_n, t_{nn} :

(а) вентиляция холодным воздухом $t_{cp} < t_n, t_{nn}$, (б) $t_n < t_{cp} < t_{nn}$, (в) вентиляция подогретым воздухом $t_{cp} > t_n, t_{nn}$.

Кривые профилей температуры на рис. 1 позволяют оценить максимальные и минимальные отклонения температуры воздушной среды обогреваемых

помещений над теплым полом и, тем самым, прогнозировать интенсивность конвективного теплообмена между поверхностью пола и средой. Для различных реализаций по конвективному параметру этот перепад лежит в интервале от долей градуса до нескольких градусов.

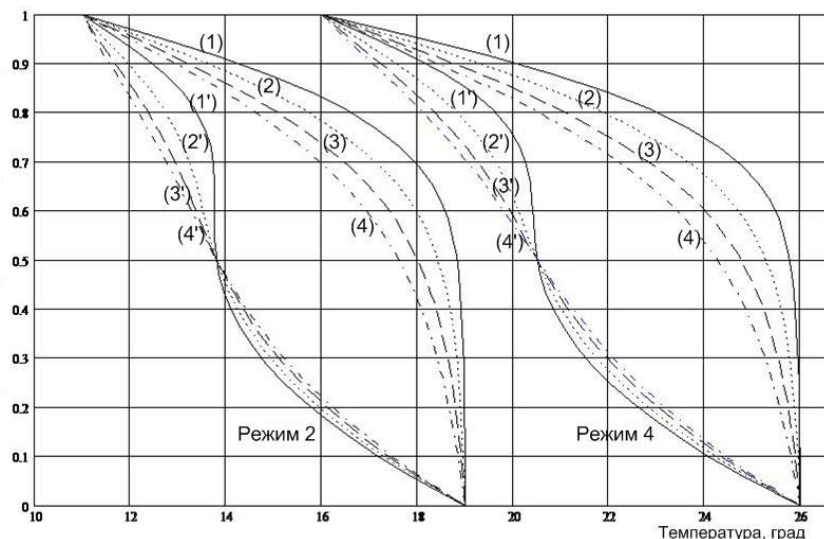


Рис. 1. Профили температуры в помещении для температурных режимов №2 и №4 без учета (кривые 1, 2, 3, 4) и при учете (кривые 1', 2', 3', 4') поперечного движения воздуха для 4-х значений конвективного параметра γ

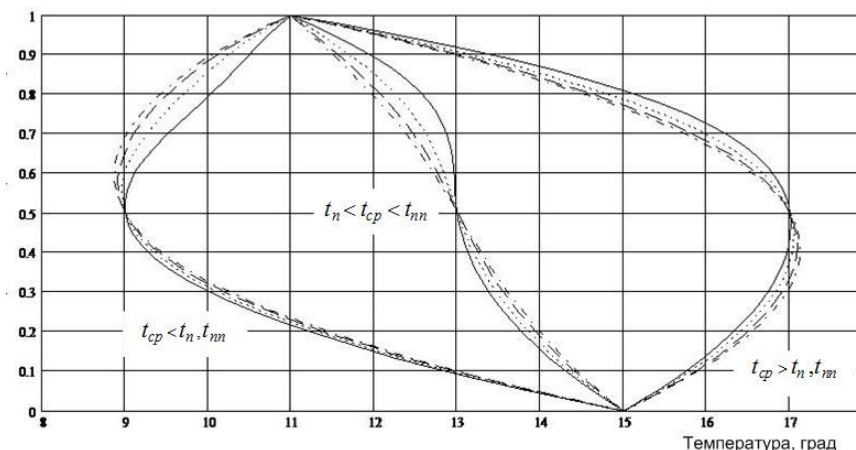


Рис. 2. Профили температуры для температурных режимов при учете поперечного движения воздуха для 4-х значений параметра γ (кривые 1', 2', 3', 4') для случаев

(а) $t_{cp} < t_n, t_{nn}$, (б) $t_n < t_{cp} < t_{nn}$, (в) $t_{cp} > t_n, t_{nn}$

Теоретико-экспериментальный подход. Пространственно-времен-ную картину теплового режима микроклимата помещения можно получить на основе включения в теоретическую модель данных, получаемых из эксперимента или контрольно-измерительной системы (КИС).

Рассмотрим пример теоретико-экспериментального подхода при диагностике теплового состояния помещения. Можно воспользоваться уравнениями Навье-Стокса на основе наблюдения температуры в дискретном ряде точек (см. рис. 3). Отыскание решения с учетом реальных граничных условий представляет довольно сложную задачу. Ее можно упростить, если разбить всю поверхность обогреваемого пола на ряд ограниченных регионов и предположить, что над каждым из них теплопередача протекает в вертикальном направлении с возмущениями в поперечных направлениях.

В этом случае двумерная задача заменяется серией одномерных для ряда сечений $z=z_i$ с соответствующими неопределенными функциями $F_i(x)$ – аналогами фиктивных источников. Над каждой зоной z_i , i – номер региона, уравнение для температуры воздуха представим в усеченном виде

$$v_x \frac{\partial T_i}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + F_i(x), \quad (6)$$

где $F_i(x)$ – функции некоторых фиктивных источников, которые можно было бы найти, решив двумерную граничную задачу с соответствующими распределениям скоростей воздушной массы, и из решения этой задачи определить функции $F_i(x) = a \partial^2 T_i / \partial z^2 - v_z \partial T_i / \partial z$.

Решениями (6) являются функции $T_i(x) = T_{i,0}(x) + T_{i,1}(x)$, где $T_{i,0}(x)$ – решения уравнений с нулевой правой частью и реальными граничными условиями на поверхности пола и потолка; $T_{i,1}(x)$ – частные решения неоднородных уравнений, которые можно заменить данными КИС.

Исходя из анализа процессов конвективного теплообмена в

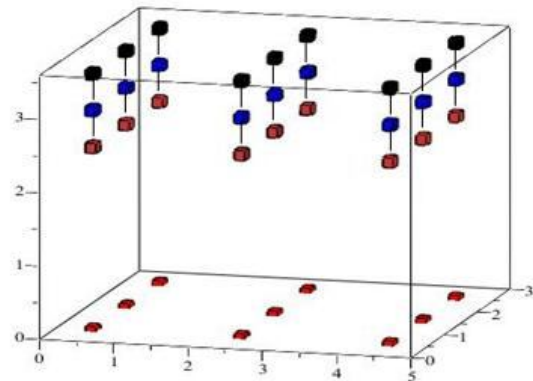


Рис 3. Размещение термодатчиков в воздушной среде помещения

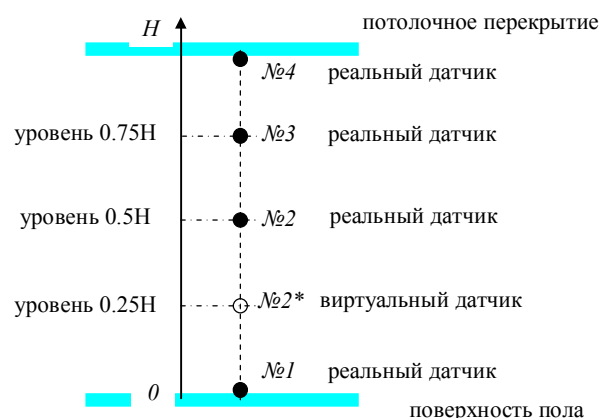


Рис. 4. Система датчиков в воздушной области над регионом

отапливаемых помещениях предполагаем, что в интервале $0.25 \leq \xi \leq 0.75$ между поверхностью пола и потолком температура изменяется по линейному закону (см. рис. 1). Угол наклона этих зависимостей определяется показаниями датчиков №2 и №3. На основе этой гипотезы в области расположения датчика №2* вычисляется значение температуры $T_{2*} = 2T_2 - T_3$. Такая схема расположения датчиков, включая виртуальные, полезна тем, что воздушная область над поверхностью пола до уровня $H/2$, или выше, будет свободна от каких-либо элементов КИС. При этом сохраняется точность диагностики и прогнозирования теплового состояния среды над регионами обогреваемого пола. ИВС, обрабатывая данные региональных датчиков, в режиме реального времени учитывает любые внешние изменения температуры и вырабатывает сигналы управления энергопотоками НС.

Регионально-аналитические преобразования данных КИС. При моделировании и прогнозировании процессов конвективного теплообмена в воздушной среде возникают проблемы обработки данных, получаемых от системы датчиков КИС. Рассмотрим возможное решение нестационарной задачи теплопроводности для определения распределения в однородном слое толщиной $2 \cdot l_0$ температуры $T = T(x, Fo)$, являющейся функцией координаты и времени:

$$\frac{\partial T}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad T(x, Fo)|_{Fo=0} = T_0; \quad T(x, Fo)|_{x=\pm 1} = T_0 + \Delta T^* Fo, \quad (7)$$

где x – нормированная на величину толщины слоя безразмерная координата; $Fo = a \cdot t / l^2$ – безразмерное время (критерий Фурье); T_0 – начальная температура слоя и среды; ΔT^* – некоторый текущий параметр, имеющий размерность температуры, который в рамках принятого теоретико-экспериментального подхода может быть определен в любые заданные моменты времени с помощью датчиков. Принятый вид граничного условия, в общем случае зависящего от времени, подходит для условий теплообмена как 1-го рода, так и для 3-го рода.

Для отыскания аналитического решения краевой задачи (7) введем новую переменную $u(x, Fo) = (T(x, Fo) - T_0) / \Delta T^*$, для которой краевая задача будет иметь уже однородное начальное условие:

$$\frac{\partial u}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad u(x, Fo)|_{Fo=0} = 0; \quad u(x, Fo)|_{x=\pm 1} = Fo. \quad (8)$$

Решение рассматриваемой нестационарной задачи теплопроводности можно интерпретировать как некоторую дискретную во времени информацию от системы датчиков, расположенных вдоль оси Ox в ряде точек, например, по высоте помещения, если рассматривать задачу контроля теплового режима при отоплении помещения.

Применив к задаче (8) преобразование Лапласа, получим решение для образа искомой функции $\tilde{u}(x, p)$:

$$\frac{d^2 \tilde{u}}{dx^2} - p \cdot \tilde{u} = 0; \quad \tilde{u}(x, p)|_{x=\pm 1} = \frac{1}{p^2}, \quad (9)$$

В 1-м приближении решение задачи (9) представим в виде, который обеспечивает точное выполнение граничного условия при $x = \pm 1$:

$$\tilde{u}(x, p) = \frac{1}{p^3} + C_1(p)p(1-x^2). \quad (10)$$

Коэффициент $C_1(p)$ определим из уравнения Бубнова-Галеркина, решение которого дает следующий результат: $C_1(p) = -5/[2p(5+2p)]$.

Полнос функции $C_1(p)$ имеет место при $p_1 = -2.5$. Это дает возможность получить решение задачи – в нашей интерпретации задачи преобразования дискретной информации во времени от системы датчиков по высоте помещения – для первого региона по времени, точно удовлетворяющее начальному и граничному условиям. В этом случае искомое решение задачи (9) – "прогноз" температурного распределения:

$$u_1(x, Fo) = Fo + (1 - e^{-2.5Fo}) (C_1^{(1)} + C_2^{(1)}x^2)(1-x^2). \quad (11)$$

Выберем следующие границы регионов во времени: $Fo_1 = 0.1$, $Fo_2 = 0.2$, $Fo_3 = 0.4$, $Fo_4 = 0.8$, $Fo_5 = 1.2$, $Fo_6 = 1.8$, $Fo_7 = 2.4$, $Fo_8 \rightarrow \infty$.

Следует заметить, что регионально-аналитическое прогнозирование известных функций распределения предполагает, что границы регионов во времени могут выбираться, исходя из расчетных данных, либо на основе опыта и инженерной интуиции при проектировании конкретных систем диагностирования, обеспечивая расчетную эффективность.

$C_1^{(1)}$ и $C_2^{(1)}$ в выражении (11) определим исходя из заданной дискретной информации для функции $u(x, Fo)$ в выбранных "базовых" точках $x = 0.0$ и $x = 0.8$. Пусть при $Fo_1 = 0.1$ имеет место $u_1(0.0, 0.1) = 0.001$, $u_1(0.8, 0.1) = 0.047$. Тогда получим: $C_1^{(1)} = -0.4475$; $C_2^{(1)} = -0.3411$.

Для второго региона по времени $Fo_1 \leq Fo \leq Fo_2$ формулу аналитического прогнозирования известной функции распределения температуры представим в виде:

$$u_2(x, Fo) = u_1(x, Fo) + (e^{-0.25} - e^{-2.5Fo}) (C_1^{(2)} + C_2^{(2)}x^2)(1-x^2), \quad (12)$$

При этом в точке сопряжения региональных функций по времени $Fo = Fo_1$ обеспечивается точное выполнение условия $u_1(x, Fo_1) = u_2(x, Fo_1)$.

Продолжая начатую процедуру построения региональных функций и сравнивая их численные значения, можно прийти к выводу, что уже функции $u_3(x, Fo)$ и $u_4(x, Fo)$ демонстрируют хорошее согласование в точках "х", отличных от базовых.

Таким образом, для дальнейшего аналитического прогнозирования во времени достаточно ограничиться функцией $u_3(x, Fo)$. За три шага прогнозирования получен выход на значения $u(x, Fo_{3+j})$, достигающие в последующие моменты времени заданного уровня. Таким образом, здесь решена и обратная задача прогнозирования – определено число шагов прогнозирования. Данные вычислительного эксперимента подтверждают достаточно высокую эффективность предложенной методики регионально-аналитического

прогнозирования известных функций распределения. Прогнозирование времени выхода теплового состояния объекта на регулярный режим может быть осуществлено с помощью анализа величины

$$\max_{m,i} |T_3(x_m, Fo_i) - T_1(x_m, Fo_i)| \leq \varepsilon. \quad (13)$$

Проверка условия (13) позволяет определять время выхода исследуемой системы на регулярный режим, для которого в данном случае получено значение $Fo = 2.4$.

Предложенный здесь подход анализа нестационарных процессов может быть распространен также на 2- и 3-мерные объекты.

Приведем здесь решение трехмерной задачи регионально-аналитического преобразования данных КИС при моделировании и прогнозировании процессов конвективного теплообмена в воздушных зонах помещений. Для температурных распределений в прямоугольной призме с размерами $2a \times 2b \times 2c$ и граничными условиями Ньютона-Рихмана на гранях (начало декартовой системы координат находится в центре призмы) в каждом из регионов по времени $0..Fo_1, Fo_1..Fo_2, \dots, Fo_{k-1}..Fo_k$ можно построить такую цепочку функций:

$$\begin{aligned} T_1(x, y, z, Fo) &= T_{cp}(Fo) + (1 - e^{-p_1 Fo}) \cdot X^{(1)}(x) \cdot Y^{(1)}(y) \cdot Z^{(1)}(z), \\ T_2(x, y, z, Fo) &= T_1(x, y, z, Fo) + (e^{-p_1 Fo_1} - e^{-p_1 Fo}) \cdot X^{(2)}(x) \cdot Y^{(2)}(y) \cdot Z^{(2)}(z), \\ &\quad \text{-----} \\ T_k(x, y, z, Fo) &= T_{k-1}(x, y, z, Fo) + (e^{-p_1 Fo_{k-1}} - e^{-p_1 Fo}) \cdot X^{(k)}(x) \cdot Y^{(k)}(y) \cdot Z^{(k)}(z), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} X^{(k)}(x) &= \xi^{(k)}(x) - \omega_1(x) \cdot \left[\frac{\partial \omega_1}{\partial x} \cdot \frac{\partial \xi^{(k)}}{\partial x} - Bi_1(Fo) \cdot \xi^{(k)}(x) \right]_{x=\pm a}, \\ Y^{(k)}(y) &= \eta^{(k)}(y) - \omega_2(y) \cdot \left[\frac{\partial \omega_2}{\partial y} \cdot \frac{\partial \eta^{(k)}}{\partial y} - Bi_2(Fo) \cdot \eta^{(k)}(y) \right]_{y=\pm b}, \\ Z^{(k)}(z) &= \zeta^{(k)}(z) - \omega_3(z) \cdot \left[\frac{\partial \omega_3}{\partial z} \cdot \frac{\partial \zeta^{(k)}}{\partial z} - Bi_3(Fo) \cdot \zeta^{(k)}(z) \right]_{z=\pm c}, \\ \omega_1(x) &= \frac{a^2 - x^2}{2a}, \quad \omega_2(y) = \frac{b^2 - y^2}{2b}, \quad \omega_3(z) = \frac{c^2 - z^2}{2c}, \\ \xi^{(k)}(x), \eta^{(k)}(y), \zeta^{(k)}(z) &\text{ – функции, подлежащие определению.} \end{aligned}$$

Представленные выше функции непрерывны по параметру Fo на границах временных регионов, точно удовлетворяют граничным условиям на гранях призмы условиям Ньютона-Рихмана на аналитическом уровне и отражают динамику взаимодействия объекта с внешней средой.

Выводы. Предложен теоретико-экспериментальный подход контроля и автоматизированного поддержания теплового режима микроклимата в рабочих зонах помещений на основе использования в математических моделях теплофизических объектов данных контрольно-измерительных систем, что

позволит заметно повысить энергетическую эффективность производственных сооружений.

Предложенная методика регионально-аналитического преобразования данных контрольно-измерительных систем впервые позволила проводить аналитическое прогнозирование спектральных составляющих динамического процесса по регионам во времени. Она также позволяет решать обратную задачу, которая состоит в определении числа шагов прогнозирования m , через которые значения параметра прогнозирования $\eta(t_{n+j})$ достигнут допустимого уровня в будущие моменты времени. Предлагается использовать новый подход к преобразованию дискретной информации от термодатчиков контрольно-измерительной системы во времени и по координате в регионально-аналитическую информацию для построения систем регулирования теплового режима микроклимата производственных помещений на основе прогнозирования тепловых процессов.

Список литературы: 1. Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с. 2. Круковский, П. Г. Тепловые режимы полов различных конструкций с электрокабельными системами обогрева [Текст] / П. Г. Круковский, Н. П. Тимченко, О. Ю. Судак, Д. И. Розинский // Пром. теплотехника. – 2002. – Т. 24. – №1. – С. 10–16. 3. Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом / Сб. научн. статей «К разработке государственных строительных норм Украины «Электрические кабельные системы отопления». – Под ред. Д. И. Розинского. – Киев. – 2001. – 152 с. 4. Романченко, М. А. Енергозберігаючі електротехнології забезпечення стандартів теплового режиму виробничих споруд АПК з електрообігрівними підлогами [Текст] / М. А. Романченко, Д. І. Мазоренко, А. П. Слесаренко, О. С. Сорока // Електрифік. та автоматиз. сільського господарства. – 2006, №2. – С. 82-92. 5. Слесаренко, А. П. Моделювання стаціонарної теплопередачі в 3-вимірній багаточастинній структурі з трубчастими нагрівачами для системи оптимального керування тепловим режимом приміщення [Текст] / А. П. Слесаренко, М.А. Романченко, О. С. Сорока // АСУ и приборы автоматики.– Харьков, 2009.– Вып.149. – С. 38-47. 6. Слесаренко, А.П. Математичне моделювання термостабілізації підлог приміщень з урахуванням максимального теплоакмулювання в системі обігріву [Текст] / А. П. Слесаренко, О. С. Сорока // Проблеми машиностроения. – Харьков, 2011. – Т.14, №1. – С. 72-85. 7. Пчолкін Ю.М. Машини та обладнання для створення мікроклімату на фермах / Ю. М. Пчолкін, В. К. Мурзин // К.: Урожай. – 1977. – 110 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

СОДЕРЖАНИЕ

О. А. Коваль, О. В. Вікторова Математичне моделювання динамічних навантажень, які впливають на дорожню машину	3
А.А. Святуха, И.Б. Плехотникова Влияние свойств покрытий на прочность неподвижных соединений, собранных тепловым методом	7
І.О. Ластівка Гістерезис відривних течій	12
Т.Л. Тринева Особенности проектирования габаритных изделий с учетом их изготовления на установке селективного лазерного спекания «VANGUARD HS»	16
В. Ю.Селиверстов, Ю. В.Доценко Особенности комплексного влияния неметаллических примесей и газодинамического воздействия на структурообразование стали	20
Н.В. Внукова Вплив технічного стану двигунів внутрішнього згорання на паливну економічність і екологічну безпеку	27
Л. О. Антоненко Перспективи отримання БАД на основі біомаси CORIOLUS VERSICOLOR	34
В. А. Юрченко, А.Ю. Бахарева Оценка эффективности работы фильтра из активированного угля дегазатора при очистке газообразных выбросов из канализационных сетей от метана	39
О.В. Цыганкова, С.Г. Егоров, И.Ф. Червоний, Р.Н. Воляр О потенциале огневого рафинирования меди из вторичного сырья	44
В.К. Жданюк, Я.І. Панасюк Дослідження міцнісних властивостей цементогрунту з добавкою «ROADCEM»	49
Н.У. Гюлев О влиянии эргономических характеристик автомобиля на функциональное состояние водителя	53
Ю.А. Василенко, Ф.Г. Ващук, І.Ф. Повхан, В.В. Поліщук Групова та індивідуальна оцінка важливості бульових аргументів	57
Л.И. Нефёдов, М.В. Шевченко, Ю.А. Петренко, А.Б. Биньковская Метод определения характеристик синтезируемой компьютерной сети в условиях нечеткой информации	64
И.А. Луценко, Н.И. Николаенко Стандартизация интерфейсов подсистем и модулей системы преобразования с дозированной подачей сырьевых продуктов	70

Л.И. Нефёдов, Е.П. Бабенко, Ю.В. Перепелица	79
Имитационная модель управления затратами в проектах зимнего содержания автомобильных дорог с учетом факторов риска	
А.О. Коваль	84
Лінійна нейромережева динамічна вимірювальна система з послідовним відновленням і фільтрацією вхідного сигналу датчика	
Р. В. Вернигора, О. О. Мазуренко	89
Дослідження ефективності технології формування двогрупних поїздів в оперативних умовах з використанням імітаційної моделі роботи залізничного напрямку	
О.Ю. Чередніченко, О.В. Янголенко, Т.М. Запорожець, О.В. Яковлева	96
Аналіз вимог до системи автоматизованого тестування знань	
В.И.Тихонов, Е.В.Тихонова	101
Нормализация модели взаимодействия объектов инфо-коммуникационной сети	
Е.В. Бодянский, Н.В. Рябова, О.В. Золотухин	109
Обработка текстовых документов с помощью адаптивного нечеткого обучаемого векторного квантования	
О.Г. Гусак, О.І. Котенко, Л.М. Ніколаєнко	116
Оцінка життєвого циклу насосних установок при використанні вільновихрових насосів	
Л.Г.Уварова, С.А. Левченко	122
Прогнозування графіків електричних навантажень підприємства	
В.Г. Неня, С.О. Хованський, Л.В. Гапич, Е.В. Колісніченко	128
Забезпечення закону регулювання параметрів насосної станції за допомогою дроселюючих елементів	
О.І. Тарасов, В.О. Тарасова, І.В. Добрянська	133
Вплив кроку між трубами колектора на ефективність горизонтального ґрунтового теплообмінника	
Д.В. Федасюк, Т.О. Муха	139
Порівняння нелінійної та лінійної моделей процесу теплообміну з використанням випаровування	
О.М. Кітченко, В.Л. Каверцев	145
До питання про оптимальний рівень централізації в системах енергозабезпечення	
А. П. Слесаренко, А. С. Сорока	151
Математическое моделирование и идентификация тепловых режимов воздушных зон помещений на основе данных контрольно-измерительных систем	

Наукове видання

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

"Нові рішення в сучасних технологіях"

Випуск №53

Науковий редактор докт. техн. наук, проф. Є. І. Сокол

Технічний редактор Т.Л. Коворотний

Відповідальний за випуск канд. техн. наук І. Б. Обухова

Обл.-вид. №179-11

Підписано до друку 05.12.2011. Формат 60х84/16. Надруковано на різнографі

Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 9,4. Облік.вид.арк. 10,0.

Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. №53. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ»

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК33657 від 24.12.2009р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Типографія "Технологічний центр"

вул. Новгородська, 3а, м. Харків, 61145