

ВЕСТНИК
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

ISSN 2079-5459

Сборник научных трудов

23'2011

***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 "ХП". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.- Харків: НТУ „ХП» -2011. - № 23. - 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 „ХП", Протокол №6 від 10.06.2011

Національний технічний університет „ХП" 2011

УДК - 541.678.5

Л. Д. МАСЛЕННИКОВА, канд. хим. наук, НАУ, Київ,
К. С. ГРИНЬКІВ, НАУ, Київ.

МОДИФІКАЦІЯ ЕПОКСИДНОГО ОЛІГОМЕРА АМІЛОВИМ СПИРТОМ

Викладено матеріал по формуванню різного морфологічного стану в полімерних композиціях одержаних на основі епоксидних лакових олігомерів. Встановлено, що аміловий спирт в даній системі може бути пластифікатором оскільки збільшує рухливість макромолеку.

Изложен материал по формированию разного морфологического состояния в полимерных композициях полученных на основании эпоксидных лаковых олигомеров. Установлено, что амиловый спирт в данной системе может быть пластификатором поскольку увеличивает подвижность макромолекул.

Presented material on the formation of different morphological states in the polymer composition derived from the epoxy varnishes oligomers. Established that the amyl alcohol in the system may be a plasticizer because it increases the mobility of macromolecules.

Вступ

Одержання полімерів з певним комплексом властивостей пов'язано не тільки із синтезом полімерів різної хімічної будови, а й з формуванням структурних особливостей.

Введені в полімер пластифікатори впливають на всі його фізико – механічні властивості – міцність, еластичність, крихкість, діелектричні властивості, температуру склування і текучості та ін. [1].

При виробництві полімерних виробів необхідно тимчасово послабляти дію міжмолекулярних взаємодій, давати можливість молекулам переміщуватись одна відносно одної, надавати полімеру текучості. Зазвичай це досягається нагріванням полімеру до температури, яка перевищує $T_{\text{тек}}$, яка може бути вище за температуру розкладання полімеру. Крім того, багато полімерів, які широко застосовуються в техніці, такі, як полівінілхлорид, нітроцелюлоза і полістирол, занадто крихкі для переробки їх у вироби. Існують еластомери, що є м'якими, гнучкими і міцними при кімнатній температурі, але стають крихкими і ламкими при сильному охолодженні, тобто мають низьку морозостійкість. Для успішного формування виробів із таких полімерів необхідно штучно знизити $T_{\text{тек}}$. А для розширення температурної ділянки їх експлуатації – збільшити інтервал $T_{\text{тек}} - T_{\text{с}}$, тобто ділянку високо еластичної деформації, або хоча б знизити температуру склування.

Цієї мети, а також зниження температури крихкості, досягають за допомогою пластифікації, під якою зазвичай розуміють підвищення високих еластичних і вязкотекучих властивостей з одночасним зменшенням крихкості. Пластифікація

частіше всього здійснюється введенням у полімер пластифікаторів – низькомолекулярних речовин, які здатні частково або обмежено змішуватися з полімером. Щодо цього пластифікатори нічим не відрізняються від звичайних розчинників. Але в техніці, щоб під час переробки й експлуатації полімеру не втрачалися властивості, здобуті при пластифікації, використовуються лише нелеткі високо киплячі речовини. Пластифікатори мають добре суміщатися з полімером, утворюючи з ним істинний розчин, тривалий час утримуватися в полімерній композиції, не відшаровуватися (не «випадати») навіть при низьких температурах [2].

Загальна характеристика матеріалів на основі епоксидних смол

Епоксидні полімери володіють таким комплексом властивостей (адгезійних, механічних, електричних та ін.), які у багатьох випадках роблять їх незамінними як основа для клеїв, лакофарбових покриттів, компаундів і армованих пластиків. Завдяки цьому епоксидні смоли зайняли важливе місце у ряді промислових полімерних матеріалів. Це відноситься не стільки до обсягу їх виробництва, скільки до їх ролі, оскільки в більшості випадків епоксидні смоли використовують для створення найбільш важливих виробів. Промисловий випуск, застосування і розробка нових епоксидних полімерів і композицій на їх основі розвиваються швидкими темпами. Крім того, ці полімери зазвичай служать моделями для вивчення найбільш характерних властивостей сітчастих полімерів.

Епоксидним полімерам присвячений ряд монографій, в яких в основному освітлюють питання хімії і технології епоксидних смол і матеріалів на їх основі, а також їх застосування. В той же час останніми роками опубліковано велике число статей по фізико-хімічних властивостях епоксидних полімерів і експлуатаційним характеристикам матеріалів, що використовуються в різних областях техніки.

Епоксидні смоли широко використовуються в якості плівкоутворювачів лакофарбових матеріалів, основною областю застосування яких є протикорозійний захист металевих виробів і конструкцій, а також захист бетону, пластмас, дерев'яних виробів та ін. Споживання епоксидних смол для цих цілей становить приблизно 50 % загального світового виробництва. У лакофарбових композиціях епоксидні смоли часто модифікують іншими смолами: кам'яновугільними, алкідними, меламіноформальдегідами, нітратом целюлози, полісульфідами, низькомолекулярними каучуками тощо, що ще більше розширює можливості їх застосування. Епоксидні лакові матеріали включають традиційні системи, що містять 40-50% органічних розчинників, і нові матеріали зі значно зменшеним їх вмістом або зовсім без розчинників.

Матеріал з високим вмістом органічних розчинників можна умовно розділити на дві групи: у першій групі основним плівкоутворювачем служать діанові епоксидні олігомери (ЕД-20, Е-40, Е-41, Е-33, Е-45, Е-20, Е-49, Е-05К, Е-ООС і ін.), а в другій – співконденсати цих олігомерів з іншими сполуками.

Серед матеріалів першої групи найбільш широке промислове застосування знаходять шпатлівки, ґрунтовки, лаки і емалі, затверджені поліамінами, в тому числі і модифікованими.

Всі ці матеріали використовуються для захисту від корозії та корозійно-ерозійної поразки виробів сталі, легких сплавів, склопластиків, що експлуатуються в різних атмосферних умовах, в прісній і морській воді, ґрунті. Покриття стійкі до дії лужних і деяких кислих середовищ, органічних розчинників, до періодичної дії бензину і масел.

Епоксидно-фенольні матеріали, що є однокомпонентними системами, використовують для захисту консервної тари з жерсті та алюмінію і аерозольних упаковок, а також інших виробів. Одержувані покриття характеризуються високою хімічною стійкістю, твердістю, механічної та адгезійної міцністю, завдяки чому навіть в тонкому шарі забезпечує довготривалу захисну дію.

Матеріали, які затверджуються аміноформальдегідними смолами, також є однокомпонентними. Одержувані покриття володіють водо- і абразивостійкістю. Однак адгезійна міцність і стійкість до дії кислих середовищ нижче, ніж у епоксидно-фенольних покриттів.

Матеріали, які затверджуються поліізоціанатами, використовують для захисту обладнання і приладів, у тому числі і електротехнічного призначення, що експлуатуються в умовах звичайної і підвищеної вологості. Серед лакофарбових матеріалів на співконденсатах діанових смол найбільш практичне застосування знайшли композиції на основі епоксифірів, які отримують конденсацією діанових смол з жирними кислотами масел. Покриття, затверджені на повітрі в результаті окисної полімеризації радикальних залишків кислот, перевершують покриття на основі немодифікованих діанових смол по декоративних властивостях, але поступаються їм у лугостійкості [2].

Експериментальна частина

Діелектрична проникність в загальних рисах оцінює поляризаційні ефекти в полімерних матеріалах. Для досліджуваних модифікованих епоксидних олігомерів аміловим спиртом оцінювалась рівноважна діелектрична проникність, яка одержується при максимальних значеннях частот в частотній залежності ϵ'' . Проведена графічна інтерпретація концентраційних залежностей рівноважної діелектричної проникності (рис. 1). Як видно із рис.1а при вмісті модифікатора від 0 до 1,89% та від 4 до 8% спостерігається процес пластифікації, а від 1,89 до 4% антипластифікація, яка супроводжується збільшенням діелектричної проникності.

Проведений аналіз концентраційної залежності від вмісту модифікатора від 15 до 50% (рис.1б). При великому вмісті модифікатора спостерігається ефект як пластифікації (від 30 до 36% та від 40 до 45%) так і антипластифікації (від 36 до 40% та від 45 до 50%).

З графіків наведених на рис. 1 можна сказати, що пластифікація відбувається як при малих так і при великих концентраціях амілового спирту.

З отриманих графіків зміни діелектричної проникності видно, що аміловий спирт впливає на експлуатаційні властивості епоксидного полімеру. Він вступає в диполь – дипольну взаємодію з епоксидним олігомером і тим самим змінює рухливість молекул в полімері. В даній роботі аміловий спирт виконує роль пластифікатора. Він розсовує макромолекули олігомеру оточуючи їх

мономолекулярним шаром і екранує полярні групи. Взаємодія між ланками різних макромолекул замінюється взаємодією цих ланок із молекулами спирту.

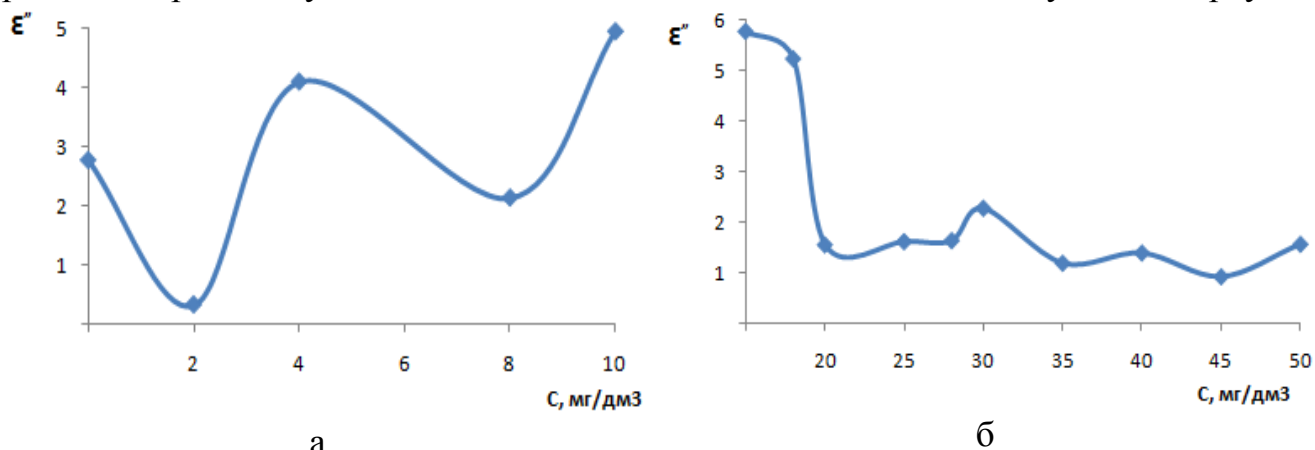


Рис. 1. Залежність рівноважної діелектричної проникності від вмісту спирту

У результаті виникнення проміжного шару в значній мірі припиняється безпосереднє стикання макромолекул; замість цього спостерігається стикання макромолекул спирту, які легко пересуваються відносно одна одної. Аміловий спирт діє як мастило, прискорюючи переміщення макромолекул під дією деформувальних зусиль. Додавання спирту приводить до значного зниження дипольно – сегментальних процесів релаксації.

Взаємодія епоксидних сполук з поліамінами представляє собою практичний інтерес, оскільки ця реакція затвердження дуже часто протікає без підводу тепла ззовні [3]. До тих пір доки є вільні рухливі атоми водню механізм реакції досить простий. Згідно наведеної нижче схеми, епоксидне кільце розкривається з утворенням гідроксильної групи і приєднання аміна до гліцидилового ефіру.

Кисень простої ефірної групи з двома вільними електронними парами надає електронегативний ефект і полегшує утворення перехідного комплексу з позитивним зарядом на атомі азоту. Отже, при відсутності простої ефірної групи реакція протікала б складніше, що підтверджується численними прикладами. В реакцію можуть вступати всі рухливі атоми водню в молекулі поліамінів (рис. 2).

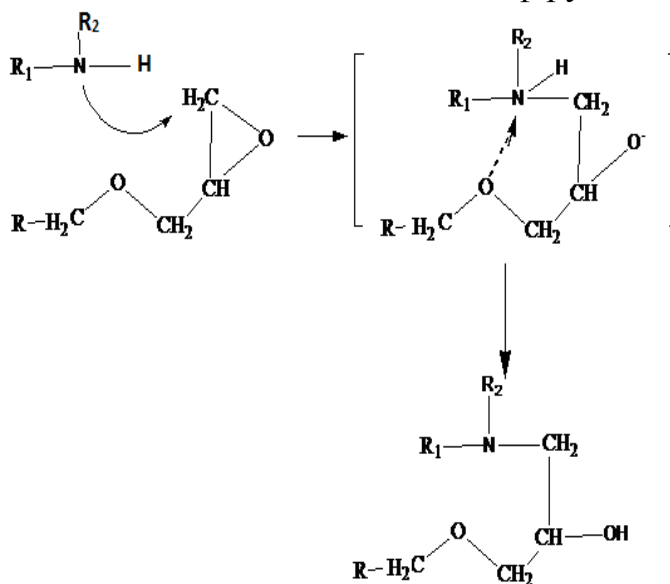


Рис. 2. Схема взаємодії епоксидних сполук з поліамінами.

При модифікації епоксидних олігомерів на першій стадії реакції відбувається взаємодія амілового спирту з епоксидними сполуками

(рис. 3 а), а потім, на другій стадії, затвердження поліамінами (рис. 3 б).

Зміна діелектричних властивостей пояснюється різною взаємодією епоксидного олігомера з аміловим спиртом за рахунок того, що молекули олігомеру по різному розташовані відносно молекул спирту.

У випадку, коли відбувається більша взаємодія між спиртом і епоксидними сполуками можна сказати, що розташування останніх є найбільш сприятливим для проходження хімічної реакції. Це пояснюється утворенням різних ізомерів, тобто різним положенням епоксидного кільця, яке реагує зі спиртом. Очевидним являється те, що введення великої кількості модифікатора приводить до створення нових структурних особливостей досліджуваної в'язкої полімер – неорганічної системи.

Одже, викладені результати досліджень служать основою встворенні нових підходів до одержання полімерів з покращеними властивостями.

Висновки

1. Показано, що у випадку додавання до епоксидного олігомеру модифікатора спостерігається зміщення процесів релаксації в сторону більших частот. Тобто наявність амілового спирту зменшує структурну щільність полімеру.
2. Отримані дані показали, що відбувається ефект пластифікації епоксидного олігомеру як при малих так і при великих концентраціях спирту (4,8 та 30%), спостерігається максимальне зміщення процесів релаксації.
3. Вперше встановлено, що аміловий спирт впливає на структуру епоксидного олігомеру і в даній системі може бути пластифікатором оскільки збільшує рухливість макромолекул олігомеру.

Список літератури: 1. Масленнікова, Л. Д. Фізико-хімія полімерів [Текст] / Л. Д. Масленнікова, С. В. Іванов, Ф. Г. Фабуляк, З. В. Грушак. – К.: вид-во НАУ, 2009. – 312 с. 2. Шур, А. М. Высокомолекулярные соединения [Текст]: учеб. / П. М. Шур. – М.: Высш. школа, 1981. – 656 с. 3. Охрименко, И. С. Химия и технология пленкообразующих веществ [Текст] / И. С. Охрименко, В. В. Верхоланцев. - Л.: Химия, 1978. - 392 с.

Поступила в редколлегию 22.04.2011

УДК 669.74

О.І.КОНЬКО, ком. директор ЧП "К.И.П.", Запорожье,
Ю.В.КУРІС, канд. техн. наук, доц., Запорожье,
В.П.ГРИЦАЙ, канд. техн. наук, проф., декан, ЗГИА, Запорожье.

ПРО КОМПЛЕКСНУ ПЕРЕРОБКУ МАРГАНЦЕВИХ ШЛАМІВ

Розглянуто технологію збагачення марганцевих шламів з низьким вмістом марганцю різного гранулометричного складу, зі створенням мобільних комплексів із збагачення металомістких шламів з одержанням концентрату з вмістом марганцю 38 ... 42%.

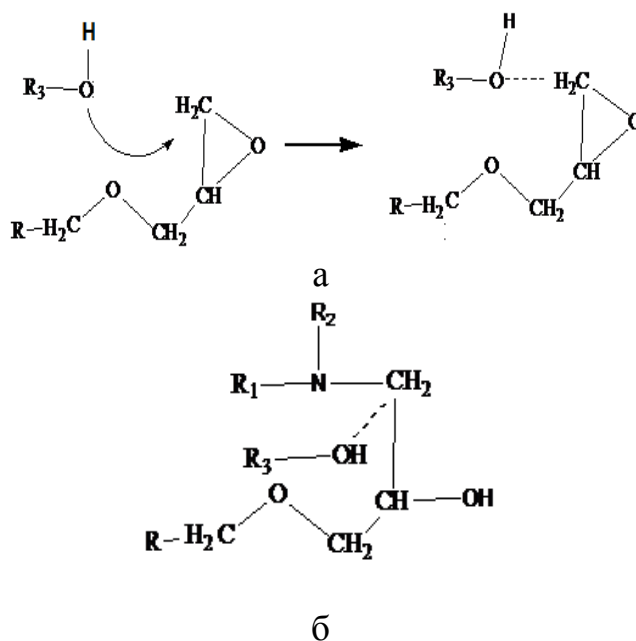


Рис. 3. Схема модифікації епоксидного олігомера аміловим спиртом: а – I стадія; б – II стадія

Ключові слова: марганцеві шлами, технологія, пересувні установки, сепарація, марганцевий концентрат.

Рассмотрена технология обогащения марганцевых шламов с низким содержанием марганца разного гранулометрического состава, с созданием мобильных комплексов по обогащению металлосодержащих шламов с получением концентрата с содержанием марганца 38...42 %.

Ключевые слова: марганцевые шламы, технология, передвижные установки, сепарация, марганцевый концентрат, строительные изделия

The process of enrichment of manganese sludge with a low content of manganese of different grain size, with the creation of mobile complexes with metal enrichment of the sludge receiving intensive concentrate containing manganese 38 ... 42%.

Key words: manganese sludge, technology, mobile installation, separation, manganese concentrate, building products

Вступ

Дані дослідження відносяться до гірничо-збагачувальної галузі. У зв'язку зі збільшенням цін на марганцеву сировину і розвитком технології, ті відходи видобутку корисних копалин, які скидалися в шламосховища і хвости збагачення, в даний час є сировиною для виробництва. З'явився термін «техногенні родовища».

Завдання

Завданням цих досліджень є аналіз вибору методу збагачення сировини з витяганням марганцевого концентрату із вихідного матеріалу.

Основна частина

Марганцеві шлами є результатом інтенсивного розвитку гірничодобувної та переробної промисловості, що використала в основному екстенсивні технологічні процеси.

У Нікопольському басейні до кінця минулого століття збагачувалися, в основному, окислені руди. Діючі підприємства зі збагачення марганцю, не переробляли бідну сировину. Приблизно чверть видобутої руди у вигляді хвостів збагачення відправлялося в шламосховища. Крім марганцю, який є цінною сировиною для промисловості, залишок після збагачення може використовуватися в будівельному виробництві, як наповнювач в бетонних виробках і відсипці доріг.

Техногенне навантаження на навколишнє середовище викликає дуже великі порушення в природі. Природні механізми саморегуляції не здатні відновити природну рівновагу.

Відомі флотаційні або хімічні методи збагачення посилюють існуючі екологічні проблеми регіону та істотно піднімають вартість переробки сировини [1].

У зв'язку зі здешевленням виробництва постійних магнітів (система Fe-Ni-B), простотою технологічних рішень, низьким енергоспоживанням, можливо збагачувати слабомагнітну сировину [2].

Цілі статті. Авторами запропонований варіант переробки промислових відходів з невеликими запасами сировини.

Поклади відходів мають невеликий за об'ємом рівень сировини, що значно звужує можливість роботи стаціонарних комплексів. Для вирішення цих проблем авторами запропоновано створення мобільних комплексів із збагачення марганцевих шламів з отриманням концентрату, що містить 38 ... 42% марганцю. Це дозволяє вирішити таку задачу як витяг цінного компонента з шламів шламосховищ з відносно невеликими запасами потенційної сировини, і при цьому не потрібно будівництво виробничих будівель і споруд, що дозволяє у відносно короткий термін демонтувати і змонтувати комплекс на новій технологічній ділянці.

Ще одним плюсом таких комплексів є відносно широкий діапазон регулювання технологічних параметрів, що дозволяє, як оперативно контролювати процес збагачення сировини, так і збагачувати різні за своїми характеристиками типи сировини.

Запропоновано для розробки схеми вилучення і переробки на концентрат зразків з вмістом марганцю 9 ... 15%, гранулометричного складу +0 -120 мм. Аналіз наявних розробок, наявних у спеціальній, галузевій та науковій літературі, і дослідження, виконані авторами даної пропозиції, дозволили зробити висновок, що для успішного вирішення переробки марганцевих руд і шламів необхідно повна утилізація марганцевих шламів.

У зв'язку з неоднорідністю хімічного і гранулометричного складу вихідної сировини запропонована схема усереднення вихідного продукту для вилучення максимальної кількості марганцю.

Принципова схема підготовки марганцевих шламів до металургійної переробки наведена на рис.1. Дана схема переробки дозволяє позбутися від утворення та накопичення промислових відходів.

Після дроблення вміст марганцю у шламах в середньому складає 13,8%, кремнію - 35%; фосфору - 0,15%.

За результатами літературних та експериментальних даних в роботі [3] визначено параметри магнітної сепарації дрібної частини після розсіву 0 ÷ 5 мм, та 5 ÷ 20 мм. Після розсіву, дрібна частина, із зернистістю 0 ÷ 5 мм йде на магнітну сепарацію з індукцією 0,75 Тл, 5 ÷ 20 мм - 0,6 Тл. Дані після сепарації наведені в таблиці 1.

Після магнітної сепарації отриманий продукт запропоновано піддати пресуванню на установці для формування стінових блоків (цегли), розміром 250

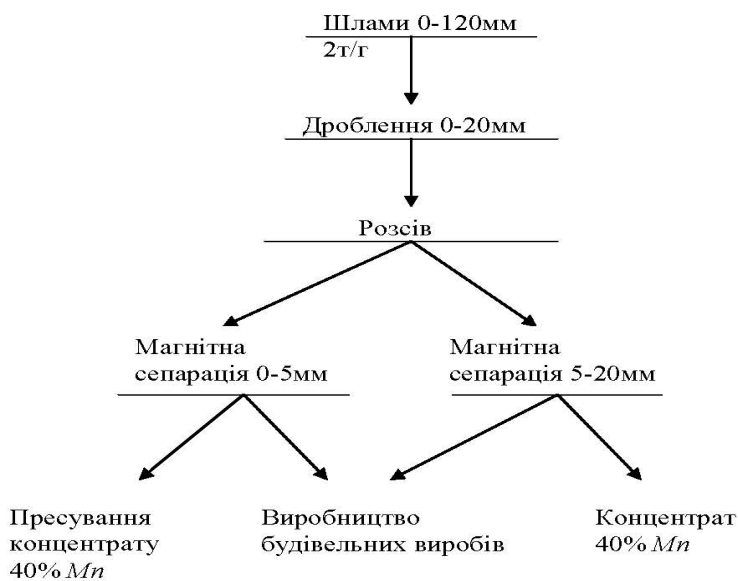


Рис. 1. Принципова схема переробки марганцевих шламів

× 125 × 65 мм. Експериментальним шляхом визначено склад суміші для пресування: магнітний продукт - 92%, в'яжуче (цемент) - 8%.

Таблиця 1. Параметри продукції після сепарації

Зернистість сировини, мм	Індукція, Тл	Mn	SiO ₂	Mn в немагнітній частині
0 ÷ 5	0,75	42,3	11,1-12,8	3,8-4,5
5 ÷ 20	0,6	32	12,0-13,2	10,2-14,1

Після пресування готовий продукт для набору міцності достатньою для складування та перевезення залишається на майданчику 72 години. При відпрацюванні всього технологічного ланцюжка, було виявлено, що вологість сировини для сепарації не повинна перевищувати 20%.

При дробленні всієї сировини отриманий продукт, в цілому задовольняв необхідному параметру і вихід готового продукту був оптимальним. Однак, при завантаженні шламів з необхідним гранулометричним складом (0 ÷ 5мм) безпосередньо із шламосховищ не завжди отримували оптимальний вихід, тому що вологість істотно коливалася в межах від 10 до 60%.

Немагнітна фракція була використана як наповнювач стінових матеріалів змінної міцності зі створенням блоку розмірами 400 × 200 × 400мм. Перший шар, виготовлений з додаванням великої і дрібної фракції відходів магнітної сепарації М-500. Другий шар є зовнішнім, виготовлений з керамзитобетону з додаванням дрібної фракції М250 з заданими теплоізоляційними властивостями.

Висновок. Дослідні дослідження показали, що вся запропонована сировина відрізняється великою мінливістю хімічного і гранулометричного складу. Це пов'язано з характером складування і технологіями збагачення, що існували під час заповнення сховищ.

Висновки

Мобільні комплекси зі збагачення марганцевих шламів дозволяють з мінімальними витратами отримувати концентрати з вмістом марганцю 38 ... 42% з повним відпрацюванням шламосховищ.

Список літератури: 1. Кармазин В.И. Обогащение руд черных металлов. М.: Недра, 1982, 216, С.37-39,208-209. 2. Фомин Я.И., "Технология обогащения марганцевых руд", М. "Недра", 1981, С.13-16, 60-61. 3. Туркенич А. М. Барьерная магнитная сепарация марганцевой руды на лабораторном сепараторе "Гидро-Маг" // Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. зб. – 2001.- № 10 (51).- С.39 - 43.

Поступила в редколлегию 11.05.2011

УДК 629.114.2:621.01

О.Г.КРИВОКОНЬ, канд. філос. наук, доц., НТУ «ХПІ», Харків

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ: ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПОДОЛАННЯ

Дана стаття показує негативний вплив на навколишнє середовище, пов'язаний з розвитком автортракторної техніки, розглядає шляхи зменшення відходів при переробці зношених шин

та містить пропозиції щодо корисного використання всіх продуктів переробки.

Ключові слова: зношені шини, здрібнені вулканізатори, утилізація, температурна деструкція, пиролиз.

Данная статья показывает негативное влияние на окружающую среду, связанное с развитием автотракторной техники, рассматривает пути уменьшения отходов при переработке изношенных шин и содержит предложения касательно полезного использования всех продуктов переработки.

Ключевые слова: изношенные шины, измельченные вулканизаторы, утилизация, температурная деструкция, пиролиз.

This article shows a negative influence on the environment connected with the development of autotractor technics, considers ways to reduce waste at recycling of the used tires and contains useful suggestions about using all refined products.

Key words: used tires, shredded vulcanizers, recycling, thermal destruction, pyrolysis.

Вступ

Початок другої половини ХХ сторіччя ознаменувався інтенсивним процесом розвитку автотракторної техніки. Це визначило дві чітко виражені та суперечливі тенденції. З одного боку, досягнутий рівень розвитку автотракторної техніки, відображаючи техніко-економічний потенціал розвитку сільського господарства, сприяв задоволенню потреб сільгосптоваровиробників, а з іншого — зумовив збільшення масштабу негативного впливу на навколишнє середовище, приводячи до порушення екологічної рівноваги на рівні біосферних процесів.

Основні завдання, які передбачається вирішити в ході дослідження:

1. вивчення теорій зношення шин та досвід їх застосування в інших країнах,
2. аналіз шляхів утилізації гумотехнічних виробів,
3. вирішення проблеми корисного використання продуктів переробки,
4. розробка системи управління та руху зношених шин та відходів.

Теоретичний аналіз проблеми

Проблемою утилізації зношених шин та пошуком корисних та екологічних шляхів переробки гумотехнічних виробів займалося багато вітчизняних та російських вчених. Насамперед Горбунов Н.І., Могила В.І., Попов С.В., Соловйов Е.М, Разумовський С.Д, Волкодаєва, М.В, Андріанов, А.Н..

Вивчення негативних наслідків розвитку автотракторної техніки дозволяє визначити два шляхи впливу її на природне середовище з обліком недостатньо високого рівня еколого-технологічної досконалості. По-перше, автотракторна техніка споживає значну кількість природних матеріалів і сировини та насамперед непоновлюваних і дефіцитних енергоносіїв, таких, наприклад, як нафта, а по-друге — забруднює навколишнє середовище. Дійсно, кожний автомобіль (трактор) є споживачем природних ресурсів і біосферозабруднювачем. Приміром, при виробництві автомобіля марки ЗІЛ-130 при власній його масі 4,3 т треба переробити 645 т природних речовин. За амортизаційний термін служби цей автомобіль дає близько 450 т відходів. На виробництво бензину, масел, шин і інших матеріалів, необхідних на період експлуатації автомобіля до списання, потрібно переробити більш 8645 т природних речовин.

Більш докладний аналіз повного життєвого циклу автотракторної техніки показує, що обидва відзначених основних напрямки утворюють ряд груп факторів, що негативно впливають на екологію:

Перша група пов'язана з виробництвом автотракторної техніки: висока ресурсно-сировинна й енергетична ємність промисловості; негативний вплив на навколишнє середовище ливарного, інструментально-механічного, лакофарбового виробництв, стендових випробувань, виробництва шин та ін.

Друга група зумовлена експлуатацією автотракторної техніки: споживанням палива і повітря; виділенням шкідливих вихлопних газів; розсіюванням у природі продуктів стирання шин, матеріалів, гальм і зчеплення, шумовим забрудненням навколишнього середовища.

Третя група пов'язана з матеріальними та людськими втратами в результаті дорожньо-транспортних подій і аварій.

Четверта група пов'язана з відчуженням значних територій під транспортні магістралі, гаражі та стоянки; з розвитком інфраструктури сервісного обслуговування автотракторної техніки (паливозаправні станції, станції технічного обслуговування, місця мийки та ін.).

П'ята група поєднує проблеми обігу (збору, транспортування, зберігання, регенерації та утилізації) з відходами та сміттям, що утворюються у зв'язку з виробництвом, технічною експлуатацією і ремонтом автотракторної техніки (використаних автошин, акумуляторів, масел і інших технологічних рідин, а також старих кузовів, кабін, рам автомобілів і тракторів).

До факторів найбільш негативного впливу на навколишнє середовище можна віднести п'яту групу.

Проблема утилізації відходів, що утворюються у зв'язку з виробництвом, технічною експлуатацією та ремонтом автотракторної техніки, а також технічних засобів виробництва, що завершили свій життєвий цикл, є складовою частиною глобальної проблеми раціонального використання ресурсів, що входять у процеси виробництва й споживання.

Утилізація автотракторної техніки пов'язана з розробкою інфраструктури системи підприємств, що утилізують, з використанням потужностей ремонтно-обслуговуючої бази агропромислового комплексу (АПК).

Далі на прикладі зношених шин автотракторної техніки покажемо можливі варіанти їх утилізації.

Утилізація зношених шин (ЗШ) у багатьох країнах світу вважається одним із актуальних завдань в області переробки автотранспортних відходів.

Організоване розміщення ЗШ вимагає відведення значних територій під смітники, які можуть стати джерелами пожеж. У розвинених державах поховання ЗШ дозволяється на спеціальних полігонах при виконанні необхідних заходів для забезпечення безпеки й контролю. Вартість такого поховання відповідає рівню вартості спеціально організованого спалювання відходів. У деяких штатах США цей спосіб заборонений законом, тому що губиться перспективна коштовна сировина. За кордоном сформувалася і у найближчі роки буде розвиватися тенденція до збільшення відновлюваних ЗШ

та тих, що переробляються, аж до повної відмови від їхнього розміщення на смітниках.

В Україні та країнах СНД великі підприємства складають ЗШ на спеціально відведених майданчиках, а безліч дрібних підприємств вирішують цю проблему за власним розсудом. Перспектива утилізації ЗШ в умовах економічної кризи залежить насамперед від розробки ефективних і недорогих технологій.

За кордоном існують наступні напрямки утилізації ЗШ:

- корисне розміщення при дорожньому будівництві (шумопоглинальні екрани, бар'єри безпеки, підпірні стінки, покриття ґрунтових обвалувань, у основі та насипах доріг, що проходять по болотистій місцевості), зміцнення берегів рік, виготовлення штучних нерестовищ, буферів у портах, сидінь для гойдалки, КАДОК і композиційних діжок для квітів;
- одержання регенерату для шинної промисловості й виробництва гумовотехнічних виробів;
- виготовлення виробів з гумової крихти: покрівельного матеріалу, бордюрів для автодоріг, плитки для спортивних і дитячих майданчиків;
- залізничних переїздів, злітно-посадочних смуг;
- використання при дорожньому будівництві у вигляді гумової крихти, для підсилення доріг під асфальтове покриття, а також у складі верхнього дорожнього покриття;
- спалювання для одержання теплоти й електроенергії;
- пиролиз, гідрування, газифікація, деполімеризація з одержанням коштовних хімічних продуктів.

У сучасних покришках утримується не менш 60% гуми, 20 % текстильного й 20 % металевго корду. Гумова складова характеризується високою теплотою згоряння — 7200 ккал/кг. Найбільш доцільне спалювання ЗШ разом з вугіллям у печах вугільних котелень або ТЕЦ, тому що невеликі добавки дозволяють підвищити калорійність палива при змісті контрольованих шкідливих речовин у димових газах у межах нормативних величин, тобто при цьому не потрібна реконструкція котельного обладнання або систем газоочищення [1]. Відомо, що при спалюванні ЗШ утворюється менше золи й вуглекислого газу, чим при спалюванні вугілля, тому вважається, що їх додавання до вугілля є одним із заходів, що сприяють зниженню плати за викиди. Використання ЗШ у шарових котельнях вимагає менших витрат для їхньої підготовки, тому що вони можуть завантажуватися у печі у вигляді великих шматків або навіть цілими. При цьому знижуються витрати на паливо. В Україні, де експлуатується понад 20 тис. пічних установок, що використовують шаровий спосіб спалювання твердого палива, розв'язок проблеми утилізації ЗШ методом спалювання є найбільш реальним.

Відновлення зношених шин. У цей час у більшості розвинених країн на проблеми рециклінгу ЗШ звертають усе більше уваги (табл. 1).

Так, у країнах ЄС відновлюється близько 15% ЗШ для легкових машин і більш 50% вантажних покришок, що на 20% дешевше виробництва нових шин, без погіршення їх експлуатаційних характеристик. Особливо ефективно

багаторазове відновлення великогабаритних шин, оскільки експлуатаційні витрати на них часто перевищують початкову вартість автотранспорту.

Таблиця. Річна кількість ЗШ у різних державах світу

Держава	Річна кількість зношених шин, тис. т
США	2600
Японія	750
Германія	430
Франція	425
Великобританія	400
Росія	2000
Україна	350

Використання цілих ЗШ і їх шматків. Закордонні дослідження показали, що шини практично не забруднюють воду і їх прогнозована довговічність у спокійній воді досягає сотень років, тому їх застосовують навіть при створенні штучних нерестовищ для риби, а у Франції — і для посилення ґрунту (успішно функціонує кілька сотень таких інженерних споруджень).

При еколого-економічній експертизі проектів слід рекомендувати проектувальникам використовувати ЗШ і їх шматки, що дозволить добитися економії фінансових коштів у кілька разів, а первинних будматеріалів (цементу, щебенів і ін.) — у десятки разів. Особливо перспективні ЗШ:

- для захисту від ерозії ґрунту й берегів (рекультивация ярів, будівництво дамб та інших споруджень, які необхідно обгороджувати);
 - при будівництві мостів і водопропускних колекторів у дорожній індустрії;
 - при створенні звукоізолюючих огорожень- екранів на автошляхах;
- для посилення «слабких» ґрунтів в інженерних спорудах широкого профілю.

У комбінації із пластмасами зі шматків ЗШ можна виготовляти спеціальні мати й рукава для ґрунтових зрошувальних систем і сільськогосподарського дренажу.

Використання здрібнених вулканізаторів. Здрібнені вулканізатори (ЗВ) використовуються в полімерних сумішах для виробництва будівельних і технічних матеріалів як добавки в дорожніх покриттях і в різних технологічних процесах.

Здрібнені вулканізатори дисперсністю від 0,007 до 1,5 мм широко використовуються при виготовленні взуття, шин, гумових покриттів, спортивних матів і доріжок, лінолеумів, плиткових матеріалів, композитних матеріалів з термопластами, бікомпонентних наповнювачів гумовотехнічних виробів (ГТВ) і в якості адсорбентів.

Незважаючи на збільшення вартості робіт з 10 до 100%, резиноасфальт має більшу зносо- і морозостійкість, знижує шум і гальмівний шлях автомобіля.

Крупнодисперсні й змішані ЗВ можуть широко застосовуватися в якості мульчи для сільського господарства, оскільки краще, ніж органіка, зберігають вологу, а також як добавка до компосту. Добавки ЗВ перспективні при

формування поверхні штучних і трав'яних спортивних майданчиків із заданою еластичністю. Розширюється використання ЗВ як сорбентів для хімічних і паливно-мастильних відходів і забруднювачів.

Температурна й термохімічна деструкція ЗШ і ГТВ. Температурна деструкція має обмежене застосування, до її основних видів відносяться пироліз (високотемпературний процес деструкції молекул вихідних речовин) і деструктивна гідрогенерація (переробка в присутності каталізаторів при акції гідрування-розщеплення молекул сировини із приєднанням до них водню).

При використанні термічних процесів звичайно утворюються складні суміші газоподібних, рідких і твердих речовин. Їхній поділ і очищення цільових продуктів зазвичай пов'язані з утворенням нових відходів, які можуть виявитися ще більш небезпечними для навколишнього середовища. У цьому випадку важко очікувати, що витрати на переробку будуть компенсовані за рахунок реалізації отриманих продуктів.

Авторами дослідження [2] встановлено, що відзначені недоліки можуть бути значно скорочені у випадку проведення утилізації відходів гуми з використанням процесу термохімічного розчинення, здійснюваного в середовищі нафтових залишків (нафтового гудрону).

У цьому випадку процес деструкції тривимірної сітки каучукового полімеру протікає не тільки під впливом тепла, але також, імовірно, і за рахунок взаємодії нафтових залишків (смола і асфальтенів) з атомами сірки, що забезпечують поперечну зшивку молекул каучуку. Процес починається з набрякання гуми. Найбільшою мірою набрякає гума із протектора шини. Бічні фрагменти шини (гума з кордом) набрякають менше, що пов'язано з більшою швидкістю розчинення корду, що міститься в них. Швидкість розчинення помітно збільшується при підвищенні температури. Так, при збільшенні температури в розчині з 260 до 290°C вихід маси продукту збільшується в 1,5 рази.

При розчиненні гуми в середовищі нафтових залишків спостерігається підвищення їх температури розм'якшення. Таким чином, процес утилізації відходів гуми є одночасно й методом синтезу бітумів, а точніше, резинобітумних комбінацій (РБК), використовуваних для приготування асфальтобетону.

При цьому скорочується витрата нафтової сировини на їхнє виробництво (до 30%) з одночасним поліпшенням експлуатаційних характеристик. Крім каучукового полімеру в гумі присутні різні наповнювачі, у тому числі сажа. Важливим тут є те, що при термохімічному розчиненні вони утворюють зростки, які можуть бути порівняно просто виділені з реакційної маси. Це дозволяє одержувати РБК зі вмістом нерозчинних речовин 0,6...0,8%. Залишок після розчинення каучукового полімеру гуми містить усі металеві деталі шини (металевий корд, шипи та ін.). При цьому після відповідної обробки може бути використаний як додатковий товарний продукт — технічний вуглець.

Використання відходів ГТВ й шин як енергоносіїв. Спалювання ЗШ енергетично неперспективно, тому що для виготовлення шини потрібна

енергія, що міститься в 35 л нафти, а при її спалюванні повертається енергія, еквівалентна лише 8 л нафти, тобто витрати на полімеризацію не поновлюються. Однак спалювання шин у цементних печах знижує забруднення навколишнього середовища й у ряді випадків є економічно вигідним.

На підставі проведеного аналізу покажемо схему керування й руху утилізацією ЗШ і відходів ГТВ (рис.1).



Рис. 1. Схема управління та руху ЗШ та відходів ГТВ

Висновки

Для подальшого запобігання, нейтралізації, скорочення тих негативних наслідків, які породжуються виробництвом, технічною експлуатацією й ремонтом автотракторної техніки, а також технічних засобів виробництва, що завершили свій життєвий цикл, необхідна розробка й реалізація комплексних заходів, що дозволяють раціонально використовувати й утилізувати як складові частини, так і в цілому автотракторну техніку.

Список літератури: 1. Волкодаєва, М.В. Прогнозування забруднення повітря в транспортних коридорах газами автотранспорту, що відробили/ М.В. Волкодаєва, А.І. Потапов, В.Ф. Хватов // Шляхи вирішення екологічних проблем транспортних коридорів. Матер. другої міжнар. євроазіатської конф. з транспорту, 12-15 вересня 2000р., Санкт-Петербург. — СПб: НУЦ «Когерент», 2000. - С. 253-266. 2. Андріанов, А.Н. Принципи екологічної експертизи при оцінці будівництва сучасних швидкісних автомобільних магістралей/А.Н. Андріанов, В.Я. Гальчук, В.Н. Денисов//Зб. наук. доповідей VII Міжнародної конф. «Екологія й розвиток північного заходу Росії», Санкт-Петербург, 2002. - С. 3-5.

Поступила в редколлегию 28.04.2011

Е.В. ГОЛТВЯНИЦКАЯ, асп., НТУ «КПИ», Киев,
Т.А. ШАБЛИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ «КПИ», Киев,
Н. Д. ГОМЕЛЯ, д-р, техн. наук, проф., зав. каф., НТУ «КПИ», Киев

ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЙСОДЕРЖАЩИХ КОАГУЛЯНТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАГЕНТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД ДОНБАССА

В роботі приведена оцінка ефективності лужних реагентів при пом'якшенні води. Показано, що сумісне використання алюмініймістких коагулянтів і лужних реагентів значно збільшує ефективність пом'якшення води. Ефективність процесу залежить від співвідношення реагентів. Ключові слова: реагентне пом'якшення води, алюмініймісткі коагулянти.

В работе приведена оценка эффективности щелочных реагентов при умягчении воды. Показано, что совместное использование алюминийсодержащих коагулянтов и основных реагентов существенно увеличивает эффективность умягчения воды. Эффективность процесса зависит от соотношения реагентов.

Ключевые слова: реагентное умягчение воды, алюминийсодержащие коагулянты.

The effectiveness of alkaline reagents for water softening was estimated in this work. It is shown that simultaneous usage of aluminium-containing coagulants with alkaline reagents significantly increases the efficiency of water softening. Efficiency of the process depends on the ratio of the reactants.

Key words: reagent water softening, aluminum-containing coagulants.

Введение

Несмотря на широкое применение сегодня современных методов кондиционирования воды, таких как нанофильтрация, обратный осмос, электродиализ, ионный обмен, реагентные методы не теряют своего значения. Главным преимуществом реагентного умягчения является то, что ионы жесткости переводятся в нерастворимое состояние и утилизируются в виде нерастворимых осадков. С другой стороны, существующие реагентные методы умягчения природных вод недостаточно эффективны при использовании традиционных реагентов – извести, соды, щелочи или их композиций [1,2]. При умягчении пресных вод остаточная жесткость воды достигает 1.5-2.5 мг-экв/дм³, а при умягчении вод с повышенным уровнем минерализации (> 1000 мг/дм³), как известно с опыта эксплуатации станций реагентного умягчения воды на предприятиях Донбасса, остаточная жесткость достигает 3-4 мг-экв/дм³, а в некоторых случаях превышает 10 мг-экв/дм³ [3]. Неэффективным было использование о-фосфата натрия [4]. При использовании алюмината натрия происходит существенное увеличение остаточной щелочности воды.

Поэтому целью данной работы было изучение влияния различных реагентов на эффективность умягчения воды, определение условий глубокого умягчения воды и снижения ее щелочности.

Методы и результаты эксперимента

При изучении процессов реагентного умягчения воды наряду со щелочью, известью, содой использовали алюминийсодержащие коагулянты РИКС-А0,

РИКС-А1, РИКС-А2, сульфат железа (II), анионный флокулянт «Полиакрилат» - гидролизированный на 70 % полиакриламид, и катионный флокулянт ВПК-402 (полидиаллилдиметиламмоний хлорид).

Объектами исследования были выбраны воды с повышенной жесткостью и минерализацией из р. Северский Донец, отобранные в области г. Северодонецк.

Воду умягчили при обработке ее основными реагентами. После введения реагентов при перемешивании определяли начальные значения pH среды. После отстаивания в течении двух часов воду фильтровали и определяли остаточное pH среды, содержание ионов жесткости и щелочность. При использовании РИКС определяли остаточное содержание алюминия, а при использовании сульфата железа определяли остаточное содержание железа.

Результаты по оценке эффективности реагентов при умягчении воды из р. Северский Донец приведены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость эффективности умягчения воды из р. Северский Донец ($J = 9.0$ мг-экв/дм³, $[Ca^{2+}] = 5.8$ мг-экв/дм³, $[Mg^{2+}] = 3.2$ мг-экв/дм³, $Щ = 6.0$ мг-экв/дм³) от типа и дозы реагентов, дозы коагулянта РИКС-А0

№ п/п	Реагент	Расход, мг/дм ³	Ж, мг-экв/дм ³	С, мг-экв/дм ³		$[Al^{3+}]_3$ мг/дм ³	Щ, мг-экв/дм ³		pH		Z, %
				Ca ²⁺	Mg ²⁺		гидр.	общ.	нач.	кон.	
1.	CaO	262	5.9	2.5	3.4	-	-	2.5	10.0	8.6	34.4
2.	CaO	298	5.8	2.8	3.0	-	-	2.6	10.5	8.3	35.6
3.	CaO;NaOH	260;61	3.5	1.6	1.9	-	-	2.1	11.0	9.9	61.1
4.	CaO;Na ₂ CO ₃	260;160	3.7	1.7	2.0	-	-	4.0	10.5	8.5	58.9
5.	CaO;Na ₂ CO ₃	280;160	2.6	1.5	1.1	-	-	2.7	11.1	9.5	71.1
6.	NaOH	137	4.3	1.5	2.8	-	-	5.0	10.0	9.2	52.2
7.	NaOH	186	3.8	0.8	3.0	-	-	5.0	10.5	9.3	57.8
8.	NaOH	298	2.2	0.1	2.1	-	-	6.0	11.1	9.7	75.6
9.	CaO;РИКС-А0	260;118	2.9	2.3	0.6	0.5	-	2.5	10.7	7.6	67.8
10.	NaOH; РИКС-А0	137;118	1.9	0.3	1.6	1.4	-	4.0	10.3	8.3	78.9
11.	NaOH; РИКС-А0	186;118	0.9	0.1	0.8	0.3	-	4.0	10.8	8.2	90.0
12.	CaO;Na ₂ CO ₃ ; РИКС-А0	260;240;130	0.5	0.0	0.5	7.5	2.5	7.3	10.5	9.5	94.4
13.	CaO;РИКС-А0; Полиакрилат	260;118;2	3.1	2.7	0.4	6.8	-	1.0	10.5	8.7	65.6
14.	CaO;РИКС-А0; ВПК-402	260;118;2	2.9	2.9	0.0	4.8	-	0.8	10.5	9.1	67.8
15.	NaOH;Na ₃ PO ₄ ; РИКС-А0	137;20; 40	1.4	1.3	0.1	2.0	0.0	7.0	10.5	8.1	84.4
16.	NaOH;Na ₃ PO ₄ ; РИКС-А0	190;25; 55	1.3	1.2	0.1	3.5	0.0	7.5	10.8	8.4	85.6
17.	NaOH;Na ₂ CO ₃ ; РИКС-А0	140;20; 40	0.6	0.3	0.3	6.5	0.0	6.6	10.5	8.8	93.3
18.	NaOH;Na ₂ CO ₃ ; РИКС-А0	190;25; 60	0.5	0.3	0.2	14.0	0.0	9.6	10.8	10.0	94.4

Как видно из таблицы 1 использование извести, щелочи, композиций извести и соды, извести и щелочи было не достаточно эффективным при pH <10.5. В этом

случае остаточная жесткость была не ниже 3.7 мг-экв/дм³, а остаточная щелочность не ниже 2.5 мг-экв/дм³. Снижение жесткости до 2.6 мг-экв/дм³ было достигнуто при pH 11 (доза извести 260 мг/дм³, соды 160 мг/дм³), но щелочность при этом достигла 4.0 мг-экв/дм³. При дозе щелочи 298 мг/дм³ остаточная жесткость снижалась до 2.2 мг-экв/дм³ при остаточной общей щелочности 6.0 мг-экв/дм³. Лучших результатов было достигнуто при использовании алюминийсодержащих коагулянтов РИКС. При совместном использовании извести, соды и РИКС-А0 достигнуто снижение жесткости до 0.5 мг-экв/дм³. Однако при этом общая щелочность достигла 7.5 мг-экв/дм³, гидратная щелочность достигла 2.5 мг-экв/дм³, а содержание алюминия в воде достигло 7.5 мг/дм³. При использовании щелочи, соды и коагулянта РИКС-А0 щелочность достигла 9.6 мг-экв/дм³, а концентрация алюминия 14 мг/дм³. В целом, этот результат нельзя считать удовлетворительным. Если данную воду использовать для подпитки систем охлаждения, то можно предположить, что гидратная щелочность снизится по мере поглощения СО₂ из воздуха. При этом алюминий будет выступать ингибитором коррозии стали [5].

При использовании флокулянтов наряду с известью и коагулянтом РИКС-А0 было достигнуто снижение щелочности до 0.8-1.0 мг-экв/дм³, но степень умягчения при этом снизилась до 65-67 %. Неэффективным было использование в композиция фосфата натрия при pH 10.5 и 10.8.

Несколько лучших результатов было достигнуто при использовании реагентов РИКС-А1, РИКС-А2 с известью и индивидуально (табл. 2).

Таблица 2. Зависимость эффективности умягчения воды из р. Северский Донец (г. Северодонецк) (Ж = 9.0 мг-экв/дм³, Щ = 6.0 мг-экв/дм³) от дозы извести и коагулянтов РИКС-А1 и РИКС-А2

№ п/п	Реагент	Расход, мг/дм ³	Ж, мг-экв/дм ³	С, мг-экв/дм ³		[Al ³⁺], мг/дм ³	Щ, мг-экв/дм ³		pH		Z, %
				Ca ²⁺	Mg ²⁺		гидр.	общ.	нач.	кон.	
1.	CaO;РИКС-А1	260;90	2.6	1.2	1.4	0.0	0.0	3.0	10.5	8.6	71.1
2.	CaO;РИКС-А2	260;210	2.0	0.7	1.3	0.0	0.0	1.5	10.5	8.6	77.8
3.	CaO;РИКС-А2	260;245	0.7	0.4	0.3	25.0	0.0	2.7	10.8	9.7	92.2
4.	CaO;РИКС-А2	260;280	0.5	0.2	0.3	24.0	0.0	3.5	11.1	9.9	94.4
5.	РИКС-А1	208	1.7	0.4	1.3	0.0	0.0	3.4	10.0	8.4	81.1
6.	РИКС-А1	340	0.5	0.1	0.4	0.0	0.0	3.7	10.5	9.2	94.4
7.	РИКС-А2	210	4.9	1.9	3.0	8.0	0.0	3.3	9.5	8.2	45.5
8.	РИКС-А2	280	1.6	0.5	1.1	5.4	0.0	3.1	10.0	8.6	82.2
9.	РИКС-А2	340	0.3	0.3	0.0	8.0	0.0	3.7	10.5	9.3	96.7

Как видно из таблицы, при использовании коагулянта РИКС-А1 было достигнуто снижение жесткости до 0.5 мг-экв/дм³ при остаточной щелочности 3.7 мг-экв/дм³ при отсутствии остатков алюминия в воде. При использовании только коагулянта РИКС-А2 достигнуто снижение жесткости до 0.3 мг-экв/дм³, однако при этом общая щелочность была на уровне 3.7 мг-экв/дм³, а остаточное

содержание алюминия достигало 8 мг/дм^3 . При использовании реагента РИКС-А2 совместно с известью жесткость снизили до 0.5 мг-экв/дм^3 при остаточной щелочности 3.5 мг-экв/дм^3 . Однако содержание алюминия достигло 24 мг/дм^3 .

Снижения остаточной щелочности воды было достигнуто при совместном использовании реагентов РИКС-А1 и сульфата железа. В целом можно отметить, что при использовании сульфата железа в композиции с известью и реагентом РИКС-А1 происходит снижение щелочности и остаточного содержания алюминия с увеличением расхода сульфата железа. Это можно объяснить процессом гидролиза сульфата железа, когда выделившаяся серная кислота взаимодействует с карбонатом или алюминатом натрия. Последний образуется из алюминия в щелочной среде. Однако при подкислении воды с увеличением дозы сульфата железа происходит увеличение остаточной жесткости умягченной воды вследствие растворения ионов кальция и магния. К лучшим результатам можно отнести данные, полученные при использовании извести, РИКС-А1 и сульфата железа, когда жесткость снижается до $0.5\text{--}0.9 \text{ мг-экв/дм}^3$ при остаточной общей щелочности $0.9\text{--}2.0 \text{ мг-экв/дм}^3$ при содержании алюминия $0.5\text{--}1.6 \text{ мг/дм}^3$.

В случае использования РИКС-А2 в отдельных опытах щелочность снижалась только до $3.0\text{--}4.0 \text{ мг-экв/дм}^3$ при содержании алюминия до 7 мг/дм^3 . В отдельных случаях отмечено снижение жесткости до $0.6\text{--}0.9 \text{ мг-экв/дм}^3$ при щелочности $1.8\text{--}3.0 \text{ мг-экв/дм}^3$ и содержании алюминия $0.0\text{--}5.0 \text{ мг/дм}^3$.

Выводы

Изучены процессы умягчения воды с уровнем жесткости $3\text{--}8 \text{ мг-экв/дм}^3$ и показано, что существенного повышения эффективности процесса можно достичь при использовании совместно с известью или щелочью алюминийсодержащих коагулянтов РИКС-А1, РИКС-А2. Эффективность умягчения воды при относительно невысокой остаточной щелочности воды и низком остаточном содержании алюминия можно достичь при подборе оптимальных соотношений известь-коагулянт и при использовании сульфата железа.

Список літератури: 1. *Пилипенко А.Т.* Методы предотвращения накипобразования при опреснении соленых вод / А.Т. Пилипенко, Н.Т. Вахник, В.И. Максин и др. // Химия и технология воды. – 1991. – Т.13. – № 11. – С. 996–1013. 2. *Гнусин Н.П.* Соосаждение кальция и магния при щелочном умягчении пресных вод / Н.П. Гнусин, И.А. Тихонова, И.Г. Лукьянец // Химия и технология воды. – 1989. – Т.11, № 5. – С.421–424. 3. *Макаренко И.Н.* Применение гидроксоалюмината натрия при кондиционировании воды для систем охлаждения в промышленности и энергетике / И.Н. Макаренко, Т.А. Шаблій, Т.В. Крысенко // Химия и технология воды. – 2009. – Т.31, № 5. – С.542–551. 4. *Шаблій Т.А.* Разработка эффективной технологии умягчения воды для промышленного водопотребления / Т.А. Шаблій, И.Н. Макаренко, Е.В. Голтвяницкая // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – № 1. – С. 53–58. 5. *Гомеля Н.Д.* Влияние ионов кальция, магния и алюминия на коррозию стали в воде / Н.Д. Гомеля, Т.А. Шаблій, О.В. Смола // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 2. – С.18–21.

Поступила в редколлегию 25.04.2011

О.А. НАГУРСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., НУ “Львівська політехніка”

КАПСУЛЮВАННЯ ГРАНУЛЬОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ ПЛІВКАМИ НА ОСНОВІ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ В АПАРАТІ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО СТАНУ

Досліджено можливість капсулювання гранульованих мінеральних добрив оболонками на основі полімерних відходів в апараті псевдозрідженого стану. Встановлені величини основних технологічних параметрів процесу покриття.

Ключові слова: капсулювання, мінеральні добрива, полімерні відходи, псевдозрідження.

Исследовано возможность капсулирования гранулированных минеральных удобрений оболочками на основе полимерных отходов в аппарате псевдооживленного состояния. Установлены величины основных технологических параметров процесса покрытия.

Ключевые слова: капсулирование, минеральные удобрения, полимерные отходы, псевдооживления.

Possibility of capsulated of granular mineral fertilizers of by shells is investigational on the basis of polymeric offcuts in the vehicle of the pseudofluidized state. The sizes of basic technological parameters of process of coverage are set.

Keywords: capsulation, mineral fertilizers, polymeric offcuts, pseudofluidizing.

Вступ

Капсулювання дисперсних матеріалів дає можливість модифікувати їх фізико-хімічні властивості. Це дозволяє покращувати характеристики капсульованих речовин, розширити можливості їх застосування. У випадку капсулювання мінеральних добрив отримують речовини пролонгованої дії. Особливо актуальним це є для легкорозчинних добрив. Втрати яких від вимивання та вивітрювання можуть сягати 50% [1]. Питання створення капсульованих мінеральних добрив є не нове. Йому присвячено ряд наукових праць, деякі організації проводять їх виробництво [2]. Однак вони не набули широкого застосування у сільськогосподарському виробництві в силу високої вартості. І надалі традиційно аграрії застосовують традиційні гранульовані синтетичні добрива, що призводить до забруднення ґрунтового, водного і повітряного середовища.

Аналіз попередніх досліджень

Створення мінеральних добрив пролонгованої можна розділити на два шляхи. Один з них – поєднання неорганічних легкорозчинних сполук з органічною важкорозчинною матрицею [3]. І другий – нанесення на поверхню гранули мінерального добрива оболонки яка знижує його розчинність [1, 2]. Застосування методу капсулювання дозволяє використовувати базові гранульовані мінеральні добрива із встановленими збалансованими показниками. Низька масопровідність полімерної плівки дозволяє наносити невелику кількість покриття, звівши до мінімуму вміст баластних речовин у добривах.

Мета роботи

Метою роботи є отримання гранульованих синтетичних мінеральних добрив пролонгованої дії шляхом капсулювання їх плівками на основі полімерних відходів в апараті псевдозрідженого стану.

Матеріал і результати дослідження

Капсулювання, як процес нанесення на поверхню гранул дисперсного матеріалу плівкової оболонки може здійснюватися різними технологічними методами [4]. В умовах великотонажних виробництв, до яких відноситься виробництво синтетичних мінеральних добрив, доцільним є використання для здійснення процесу капсулювання високоінтенсивних з погляду тепло та масообміну апаратів псевдозрідженого стану.

Для капсулювання використовували гранульоване синтетичне мінеральне добриво промислового виробництва – кальцієву і аміачну селітру. Для мінімізації зростання вартості капсульованих добрив у порівнянні з некапсульованими в якості плівкоутворювача використовували полімерні відходи з додаванням гідролізного лігніну, який є відходом переробки деревини целюлозо-паперового виробництва. Гідролізний лігнін є природнім полісахаридом, який здатний ініціювати процес біологічного розкладу полімеру в ґрунті, запобігаючи вторинному його забрудненню.

Для проведення процесу капсулювання мінеральних добрив необхідно визначити величини основних технологічних параметрів. До них належать: інтенсивність подачі плівкоутворюючого розчину в шар матеріалу; швидкість, напір та температура псевдо зріджуючого повітря; час здійснення процесу капсулювання.

Інтенсивність подачі плівкоутворюючого розчину залежить від часу випаровування розчинника з поверхні частинки, яку можна визначити за відомими залежностями [6]:

$$t_c = \frac{1 + \frac{\beta F R T_\kappa}{Q}}{\beta F \left(P_s - \frac{P_n T_\kappa}{T_n} \right)} W \quad (1)$$

де β - коефіцієнт масовіддачі пари розчинника від поверхні гранули в середовище псевдозріджуючого агенту, м/с; W - кількість розчинника, кг; F - площа поверхні частинок, м; P_s - парціальний тиск насиченої пари розчинника, Па; P_n - парціальний тиск пари розчинника на вході в робочу зону апарату, Па; R - універсальна газова стала, Дж/(кг×К); Q - витрата псевдозріджуючого повітря, м³/с; T_n - початкова температура повітря, К; T_κ - температура повітря на виході з робочої зони апарату, К; t - час випаровування розчинника з поверхні частинок, с.

Для нормального ведення процесу час нарощування оболонки повинен бути не меншим часу висушування $t_c \leq t_n$. При рівності цих величин інтенсивність зрошення набуває максимального значення.

Коефіцієнт масовіддачі парів розчинника з поверхні частинки в середовище псевдозріджуючого агенту можна визначити з рівняння масовіддачі [5]:

$$\frac{dM}{d\tau} = \beta F_\tau (\rho_{\text{нас}} - \rho) \quad (2)$$

де M – маса випареного розчинника, кг; β – коефіцієнт масовіддачі пари розчинника від поверхні частинки в середовище псевдозріджуючого агента, $\rho_{нас}$ – густина пари розчинника в стані насичення за умова процесу, кг/м^3 ; ρ – дійсна густина розчинника в робочій зоні апарату, кг/м^3 .

Замінивши диференціали кінцевою різницею, з рівняння (2) визначаємо коефіцієнт масовіддачі:

$$\beta = \frac{\Delta M}{F_{\tau} \Delta \tau (\rho_{нас} - \rho)} \quad (3)$$

Для забезпечення якісного покриття витрата дійсна плівкоутворювача приймається на 80% від розрахункової [6].

Необхідну кількість плівкоутворюючого розчину визначає концентрація плівкоутворюючих компонентів. Взаємозв'язок між кількістю розчину, плівкоутворюючих компонентів та розчинника визначається рівнянням:

$$P = C \times W \quad (4)$$

де P – кількість плівкоутворюючого розчину, кг; C – концентрація плівкоутворюючих компонентів, кг компонентів/кг розчинника; W – кількість розчинника у розчині, кг.

З даної залежності, знаючи час випаровування розчинника з поверхні частинок (рівняння 1), на яких формується оболонка, можна визначити максимальну витрату плівкоутворюючого розчину.

Величина швидкості псевдозріджуючого повітря визначається необхідністю підтримання шару дисперсного матеріалу у завислому стані. Мінімальне її значення визначається з системи критеріальних залежностей [5]:

$$Re_{кр} = \frac{w_{кр} d_{\text{ч}}}{\nu_c}; Re_{кр} = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar}}; Ar = \frac{d^3 \rho_{\text{ч}} g}{\nu_c^2 \rho_c} \quad (5)$$

де $d_{\text{ч}}$ – діаметр частинки, м; ν_c – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ_c – густина повітря при умовах процесу, кг/м^3 .

Процес капсулювання дисперсних матеріалів здійснюється за величини коефіцієнту псевдозрідження $2,5 \div 3$ [6].

Обмеженням щодо температурного режиму роботи установки є можливість закипання розчинника, що призведе до різкого погіршення якості покриття. В деяких випадках, при капсулюванні термо нестабільних речовин граничну температуру визначає збереження властивостей матеріалу. В якості розчинника для приготування плівкоутворювача застосовували чотрихлористий вуглець, температура кипіння якого становить $76,8^\circ\text{C}$. Тому приймали температуру псевдозріджуючого повітря на вході в апарат 70°C .

За приведеними вище залежностями проводили розрахунки основних технологічних параметрів процесу капсулювання добрив масою $0,25$ кг в стані псевдозрідження. Концентрація плівкоутворюючого розчину 8% (мас). Маса покриття складала, відповідно, 10 і 20% від маси добрива. Витрата плівкоутворювача – $13,4 \times 10^8 \text{ м}^3/(\text{с} \times \text{кг})$. Швидкість псевдозріджуючого повітря $3,5$ м/с. Опір шару матеріалу $45 \text{ мм H}_2\text{O}$.

Приведений алгоритм розрахунку основних технологічних параметрів не враховує впливу на процес наявності на поверхні гранул розчину плівкоутворювача. Він може призвести до злипання найдрібніших частинок добрива в силу їх малої інерційної маси. Також сили злипання, які виникають між поверхнями гранул, та збільшення маси шару матеріалу призводять до зростання його гідралічного опору. Тому в процесі капсулювання збільшували швидкість псевдозріджуючого повітря для підтримання необхідної пористості шару. Даний параметр контролювали візуально за висотою шару матеріалу в апараті. Так у порівнянні із розрахунковими даними гідралічний опір шару за час капсулювання зріс на 8 мм H_2O , у випадку 10% маси покриття і 14 мм H_2O для 20% покриття. Відповідно швидкість повітря збільшили до 3,9 м/с (для 10% покриття) і 4,4 м/с (для 20% покриття).

Якість покриття контролювали шляхом порівняння кінетики вивільнення капсульованих добрив із теоретичними даними, отриманими за приведеним в [4] алгоритмом розрахунку. Результати порівняння у графічному вигляді приведені на рис.1.

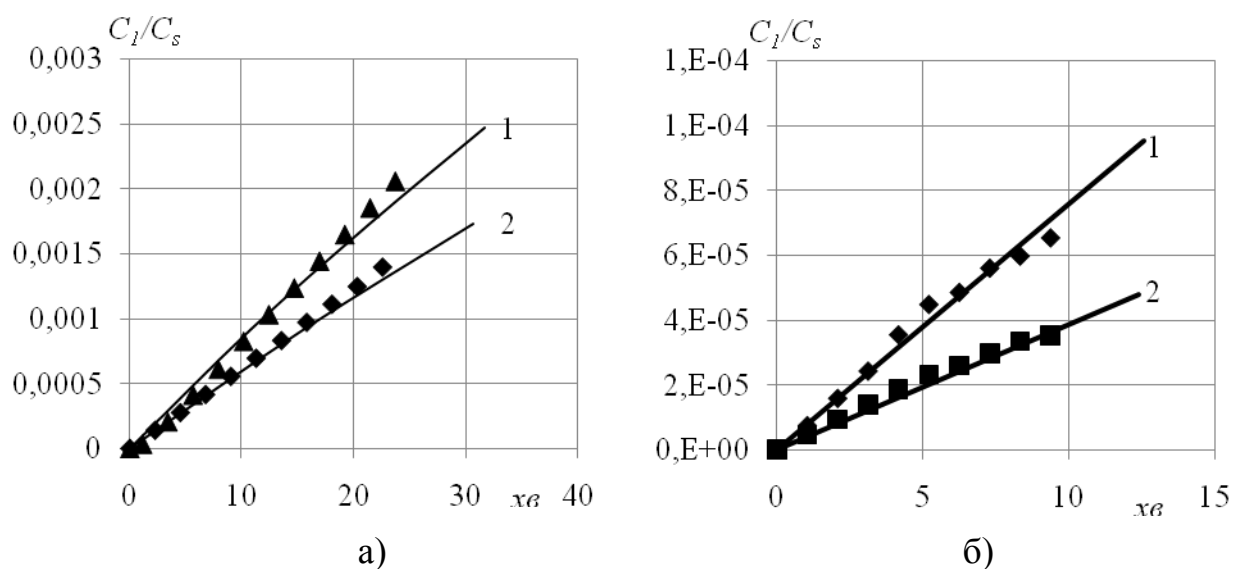


Рис.2.Порівняння теоретичних (лінії) та експериментальних значень (точки) процесу вивільнення компоненту з капсульованих частинок кулястої форми, покритих нерозчинною оболонкою різної маси (%):
а) $Ca(NO_3)_2$ 1-10, 2-20; б) NH_4NO_3 - 1-10, 2-20

Відносна похибка експериментальних та теоретичних значень лежить в межах 3,7÷10,2%. Незначна розбіжність між даними вказує на те, що на поверхні гранул мінеральних добрив нанесене рівномірне покриття.

Висновки

Для отримання капсульованих матеріалів з прогнозованими властивостями необхідно вносити поправки до розрахункових технологічних параметрів. Найбільш точним є величини отримані дослідним шляхом, так як теоретично важко врахувати вплив плівкоутворювача на процес капсулювання, реологічні властивості якого змінюються по мірі випаровування розчинника.

Список літератури: 1.Писаренко В.Н. Экологические проблемы при использовании минеральных удобрений: Пути возможного загрязнения окружающей среды удобрениями и

мероприяття по его предотвращению [Текст] / Писаренко В.Н., Писаренко П.В., Писаренко В.В. – Полтава: Агроэкология, 2008. – 252 с. 2.. *Winiarski A.* Metody zwiekszania wykorzystania azotu z nawozow mineralnych zwiazane z technologia ich wytwarzania I stosowania [Текст]: Prace Nauk. ITN I NMPWr, - N 40, 1994. – 69 s.3.*Корнієнко Я.М.* Утилізація промислових відходів через створення технології виробництва нових добрив для екологічно безпечного землеробства [Текст]: автореф. дис. д-ра техн. н.: 21.06.01 / Я.М. Корнієнко; [НТУУ «КПІ»]. – Київ, 2003. – 37 с. 4. *Демчук И.Я.*, Массоперенос из твердой шарообразной частицы, покрытой нерастворимой полимерной оболочкой [Текст] / И.Я. Демчук, О.А. Нагурский, Я.М. Гумницкий // Журнал Теоретические основы химической технологии. - 1997. - т.31. - №4. - С.380 -383. 5. *Гельперин Н.И.* Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] / Н.И. Гельперин. В двух книгах. – М.: Химия, 1981. – 812 с. 6.*Демчук И.А.* Разработка технологии и моделирования процессов капсулирования твердых лекарственных форм в псевдооживленном слое [Текст]: дис. к. т. н. / И.А. Демчук . – Львов, 1991. – 203с.

Поступила в редколлегию 29.04.2011

В.М. КРАВЧЕНКО, док. техн. наук, проф., Приазовский ГТУ, Мариуполь,
В.А. СИДОРОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ „Донецк
В.В. БУЦУКИН, канд. техн. наук, доц., Приазовский ГТУ, Мариуполь,

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРЫ УЗЛОВ МЕХАНИЗМОВ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Розглянуті органолептичні методи контролю температури вузлів механізмів, показана можливість комплексного використання вказаних методів для вирішення задач, що виникають під час експлуатації обладнання.

Ключові слова: механізм, технічний стан, температура, органолептичні методи

Рассмотрены органолептические методы контроля температуры узлов механизмов, показана возможность комплексного применения этих методов для решения задач, возникающих при эксплуатации оборудования.

Ключевые слова: механизм, техническое состояние, температура, органолептические методы

The organoleptic methods of control of temperature of knots of mechanisms are considered, possibility of complex application of these methods is rotined for the decision of tass, arising up during exploitatin of equipment.

Keywords: mechanism, technical state, temperature, organoleptic methods

Введение

Материал, изложенный в статье, относится к области технической диагностики механического оборудования. Несмотря на распространение автоматизированных систем, контролирующих параметры оборудования, органолептические методы оценки его технического состояния остаются актуальным аспектом повседневной работы специалистов механослужб промышленных предприятий. Важность контроля температуры узлов обусловлена тем, что до 95% всех форм энергии, создаваемой и передаваемой машинами прямо или частично, превращается в тепловую энергию. Параметром теплового диагностирования является температура, отражающая протекание рабочего процесса и развитие целого ряда неисправностей.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Современное механическое оборудование, работающее в составе технологических линий промышленных предприятий, должно удовлетворять высоким требованиям надежности, в первую очередь показателям безотказности. Отказ одного из элементов приводит к остановке или нарушению технологического процесса. Поэтому, возникновение повреждения, предваряющее ускоренный износ элементов оборудования должно быть обнаружено и остановлено на самых ранних стадиях.

Решение данной задачи возможно при субъективном восприятии информации о техническом состоянии механического оборудования, или путем анализа объективной информации (значений диагностических параметров),

полученных приборными методами. Оптимальным является рациональное сочетание субъективного мнения и объективных данных о состоянии оборудования. И в том и в другом случае необходима высокая квалификация специалиста, принимающего решение о необходимости проведения ремонта. Практический опыт показывает, что невозможно заменить механика с его субъективизмом, основанном на знании особенностей эксплуатации и ремонта оборудования. Субъективное восприятие информации о техническом состоянии механического оборудования, базируется на использовании органолептического метода. Этот метод является первым уровнем решения задач диагностирования и позволяет повысить точность диагноза в случае использования приборных методов. Одним из наиболее давно и часто употребляющихся в различных отраслях промышленности направлений органолептического контроля является оценка температуры узлов механизмов [1-3].

Анализ исследований и публикаций

Описанию и анализу известных методов оценки температуры, включая органолептические, посвящено значительное количество публикаций, рассмотренных, например в [1-3]. Роль органолептических методов определения температуры узлов подчеркивается и в ряде нормативных документов, смотри, например [4]. Однако вопросу комплексного использования органолептических методов определения температуры узлов в практике работы механослужб промышленных предприятий, как отмечено в [3], до настоящего времени достаточного внимания не уделялось.

Постановка задачи

Целью настоящей работы является обобщение опыта в области органолептической оценки температуры узлов механического оборудования.

Изложение материала и его результаты

Органолептические методы основаны на анализе информации, воспринимаемой органами чувств без применения технических измерительных или регистрационных средств. Эта информация не может быть представлена в численном выражении, а основывается на ощущениях генерируемых органами чувств человека. Решение относительно объекта контроля принимается по результатам анализа чувственных восприятий. Поэтому точность метода зависит от квалификации, опыта и способностей лиц, проводящих диагностирование. Принятие решения имеет характер «соответствует – не соответствует» и определяется диагностическими правилами типа «если – то», имеющими конкретную реализацию для узлов механизма. Практически, происходит оценка состояния оборудования по двухуровневой шкале – продолжать эксплуатацию или необходим ремонт. Объем информации о техническом состоянии – минимально необходимый.

При оценке температуры узлов оборудования органолептическими методами применяются, обычно уровни «холодно», «тепло», «горячо». «Холодно» - температура менее $+20^{\circ}\text{C}$, «тепло» - температура $+30...40^{\circ}\text{C}$, «горячо» - температура свыше $+50^{\circ}\text{C}$. Возможно расширение диапазонов воспринимаемых температур.

Температура нагрева корпусов механизмов, как диагностический параметр,

имеет две особенности: появление некоторых видов неисправностей вызывает повышение температуры корпуса механизма; инерционность нагрева металлических деталей, корпусов и опор не позволяет использовать данный параметр для определения внезапных отказов и зарождающихся повреждений. Правила технической эксплуатации регламентируют предельную температуру корпусов подшипников, которая не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 40°C и быть не выше $60 \dots 80^{\circ}\text{C}$. Для некоторых механизмов, имеющих циркуляционную систему смазки или охлаждения, оценивают разницу температур масла или воды на выходе и входе. Это позволяет контролировать тепловые процессы, общее состояние оборудования, а также степень его ухудшения. Обычно разница температур на выходе и входе не должна превышать $5 \dots 10^{\circ}\text{C}$.

Пределом для непосредственного восприятия является температура 60°C – выдерживаемая тыльной стороной ладони без болевых ощущений в течение 5 с. Использование дополнительных средств – брызг воды позволяет контролировать значения 70°C – видимое испарение пятен воды и 100°C – кипение воды внутри капли на поверхности корпусной детали.

Расширить диапазон субъективно воспринимаемых температур возможно при помощи зрительного восприятия используя цвета калибровки и цвета побежалости [2, 3].

Степень нагрева детали или заготовки при термической обработке, например во время закалки, может быть определена по цвету калибровки. Цвета калибровки и соответствующие температуры ($^{\circ}\text{C}$) для стальных изделий: темно-коричневый, слабое свечение в темноте – $530 \dots 580$; коричнево-красный – $580 \dots 650$; темно-красный – $650 \dots 730$; темно-вишневый-красный – $730 \dots 770$; вишнево-красный – $770 \dots 800$; светло-вишнево-красный – $800 \dots 830$; светло-красный – $830 \dots 900$; оранжевый – $900 \dots 1050$; темно-желтый – $1050 \dots 1150$; светло-желтый – $1150 \dots 1250$; ярко-желтый – $1250 \dots 1300$. Указанные цвета могут несколько изменяться по отношению к конкретным маркам сталей, однако характер изменения цветности остается неизменным. Цвета побежалости предоставляют информацию о степени нагрева детали во время поломки, перед отпуском или о перегреве детали во время сборки. Цвета побежалости углеродистой стали, не совпадают с цветами побежалости коррозионностойких и жаропрочных сталей. Это следует учитывать при различении температур.

Оборудованием, позволяющим повысить точность определения температуры контролируемого объекта при субъективном восприятии являются термоиндикаторы (жидкокристаллические и плавящиеся) и термосвидетели. Жидкокристаллические термоиндикаторы – органические соединения, обладающие свойствами жидкости (текучесть) и твердого кристаллического тела (анизотропия, двойное лучепреломление). При изменении температуры жидкий кристалл меняет цвет. Выпускаются в виде пленок или жидких растворов. Плавящиеся термоиндикаторы выпускают в виде термокарандашей, термолаков, термопорошков. Изготавливаются на основе воска, стеарина, парафина или соединений серы, цинка, свинца (для высоких температур). На поверхности изделия термокарандашом наносят риску, которая плавится и меняет цвет при

достижении заданной температуры. Действие термолаков аналогично. Термосвидетели - комплект пластинок из металлов, плавящихся при различных температурах.

Из перечисленных выше органолептических методов оценки температуры как правило в комплексе применяется оценка при тактильном контакте с поверхностью узла и, после разборки дефектного узла, поиск цветов побежалости на поверхностях стальных деталей с целью выявления зон, являющихся источниками повышения температуры.

В качестве примера такого подхода можно привести случай из практической деятельности, связанный с поиском причин внезапного разрушения корпусов насосов на одном из промышленных предприятий (рис.1). После аварийной замены узлов было установлено, что к разрушению корпуса насоса привел выход из строя подшипника ведомого вала насоса с приводной стороны. Детального исследования дефектных узлов проведено не было. В процессе эксплуатации проведены две предупредительные замены этих же подшипников. Диагностические признаки – повышение температуры корпуса насоса в месте установки подшипников в сочетании с появлением резкого шума, зафиксированные органолептическими методами. Тщательный осмотр промытых дефектных подшипников показал разрушение сепаратора в сочетании с наличием на его поверхности цветов побежалости (рис.2), свидетельствующих о явном перегреве узла. Возник естественный вопрос – перегрелся ли подшипник после разрушения сепаратора из-за какого-либо механического воздействия или разрушение сепаратора стало следствием перегрева подшипника? С целью установить первопричину этого явления проведен анализ технической документации насоса и принятых на предприятии правил его эксплуатации.



Рис.1 Разрушение корпуса насоса



Рис. 2 Цвета побежалости на сепараторе разрушенного подшипника

Анализ показал, что однотипное повреждение подшипников ведомого вала с приводной стороны нескольких насосов является следствием конструкторской ошибки. Конструкция подшипникового узла ведомого вала насоса предполагает смазывание путем разбрызгивания масла при помощи диска. Со стороны насоса осуществляется подача инертного газа для уплотнения вала. Подшипник на высокой частоте вращения работает как насос, отбрасывая частицы смазочного материала от себя. Создаваемая взвесь масляных частиц из-за этого не проникает к уплотнению вала. При износе уплотнения, из-за недостаточного смазывания,

возможно появление дополнительного потока газа препятствующего попаданию масла в подшипник. В результате подшипник остается без смазки и неравномерное распределение сил трения между телами качения приводит к разрушению сепаратора и перегреву подшипникового узла. Таким образом, в результате комплексного применения органолептических методов оценки технического состояния узлов и анализа конструкции и условий эксплуатации была установлена последовательность развития отказа:

- недостаток смазочного материала приводит к нагреву тел качения;
- уменьшается радиальный зазор с одновременным повышением температуры;
- повышение коэффициента трения создает условия для неравномерного распределения нагрузки между телами качения, заклиниванию тел качения;
- появляются продольные силы, приводящие к разрыву сепаратора.

Принятые на предприятии организационные меры в сочетании с изменением конструкции подшипникового узла позволили избежать в дальнейшем появления вышеописанных крайне опасных аварийных ситуаций при эксплуатации насосов.

Выводы и направление дальнейших исследований

1. Выполнен анализ известных органолептических методов оценки температуры узлов механического оборудования промышленных предприятий.
2. На основе практического примера показано, что применение органолептических методов оценки температуры в сочетании с комплексной оценкой условий эксплуатации и конструкции узлов позволяет принимать подтверждаемые практикой решения по улучшению работы оборудования и устранению причин опасных аварий.
3. Необходима разработка типовых процедур обследования дефектного и эксплуатирующегося оборудования с использованием, в том числе, органолептических методов, для предприятий, слабо оснащенных современными системами технической диагностики что позволит, в ряде случаев, повысить уровень культуры эксплуатации и понизить эксплуатационные расходы без существенных капитальных вложений.

Список літератури: 1. *Биргер И. А.* Техническая диагностика. - М.: Машиностроения, 1978. - 240 с. 2. *Голуб Е. С., Мадорский Е. З., Розенберг Г. Ш.* Диагностирование судовых технических средств: Справочник. - М.: Транспорт, 1993. - 150 с. 3. *Кравченко В.М., Сидоров В.А., Седуш В.Я.* Техническое дагностирование механического оборудования.- Донецк: «Юго-Восток», 2009.- 459 с. 4. *Правила технической эксплуатации механического оборудования машин непрерывного литья заготовок.* – М.: Металлургия, 1991. – 216 с.

Поступила в редколлегию 11.05.2011

УДК 629.3.015.5

Б.М. ШИФРИН, канд. техн. наук, доц., Государственная летная академия, Кировоград

МОДЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ ШИММИГЕННОГО ШАССИ

Запропонована математична модель для опису коливань підвіски шасі пневмоколісної машини. Модель справедлива при певних режимах руху колеса і враховує бічну швидкість корпусу машини. Розглянутий приклад. Ключові слова: коливання, шасі, пневмоколісна машина.

Предложена математическая модель для описания колебаний подвески шасси пневмоколесной машины. Модель справедлива при определенных режимах движения колеса и учитывает боковую скорость корпуса машины. Рассмотрен пример.

Ключевые слова: колебания, шасси, пневмоколесная машина.

A mathematical model is offered for description of vibrations of pendant of undercarriage of vehicle. A model is just at the certain modes of motion of wheel and takes into account lateral speed of corps of vehicle. An example is considered.

Keywords: vibrations, undercarriage, vehicle.

Введение

Несмотря на то, что автоколебания типа шимми подвески шасси пневмоколесных машин (самолетов, автомобилей, скутеров и т.п.) изучаются довольно давно, а их возникновение может явиться причиной гибели людей, на сегодняшний день общего взгляда на это явление не существует [1-8].

В работе изучаются колебания подвески шасси пневмоколесной машины относительно заданным образом движущегося корпуса (фюзеляжа или кузова). Потенциально движение рассматриваемой подвески может сопровождаться шиммированием пневмоколеса. Изучение ограничено требованием малого верчения пневмоколеса [9] и усложнено учетом боковой скорости корпуса машины.

Постановка задачи и уравнения движения

На рис.1 изображена изучаемая подвеска шасси пневмоколесной машины. Подвеска крепится к корпусу в точке A , проекции вектора скорости которой на продольную и поперечную оси корпуса равны соответственно V_A , W_A :

$$\vec{V}_A = \text{const}, \vec{W}_A = \text{const}, V_A \gg W_A.$$

Пневмоколесо установлено с выносом назад равным L . Относительно корпуса движение пневмоколеса определяется функциями $z(t)$, $\varphi(t)$, t – время в секундах; угол φ считаем «малым». Целью настоящей работы построение математической модели для изучения осциллирующих составляющих упомянутых функций являются.

Запишем уравнения движения пневмоколеса относительно корпуса в форме близкой к [2-5]:

$$\left. \begin{aligned} m_n \frac{d^2 z}{dt^2} + m_n L_{cg} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + (C_z + C_{z/sh}) \frac{dz}{dt} + K_z z + F &= 0, \\ J_A \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + m_n L_{cg} \frac{d^2 z}{dt^2} + (C_\varphi + C_{\varphi/sh}) \frac{d\varphi}{dt} + M_\varphi + FL &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где m_n – масса пневмоколеса; L_{cg} – расстояние от точки A до центра масс подвески шасси; C_j – коэффициент демпфирования в канале " j ", $C_{j/sh}$ – коэффициент демпфера шимми, установленного в канале " j ", $j = z, \varphi$; K_z – линейная жесткость подвески; F – сила трения на шине пневмоколеса; J_A – момент инерции подвески относительно точки A ; M_φ – момент упругих сил.

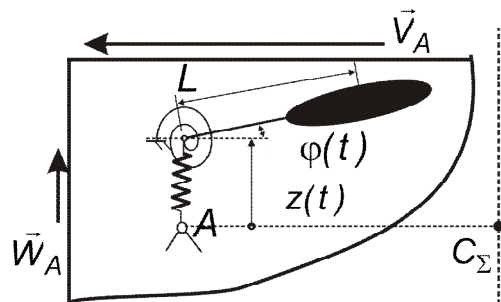


Рис. 1. Подвеска шасси

Будем использовать формулы:

$$J_A = J_C + m_{\pi} L^2 = m_{\pi} \rho^2; C_z + C_{z/sh} = c_z C_z; C_{\varphi} + C_{\varphi/sh} = c_{\varphi} C_{\varphi},$$

где J_C – момент инерции, когда пневмоколесо установлено без выноса (C – центр масс пневмоколеса); ρ – радиус инерции; $c_i = \text{const} \geq 1, i = z, \varphi$.

Доопределим уравнения (1), описав силу F и момент M_{φ} . Положим

$$F = \mu_* N f(u), \quad (2)$$

где μ_* – коэффициент трения Кулона; N – нормальная реакция на пневмоколесе; $f(u)$ – нелинейная функция относительного угла увода или характеристика трения, $u = U / U_{cr}$, U – текущий угол увода, $U_{cr} = 0,2$ радиана, U_{cr} – критический угол увода. Запишем формулу для нахождения u в области околоритических углов:

$$u = W_C / (V_A U_{cr}), \quad (3)$$

где

$$W_C = W_A + L \frac{d\varphi}{dt} + \frac{dz}{dt}. \quad (4)$$

Примем, что $\mu_* N = \text{const}$ и будем использовать «магическую» формулу [6]:

$$f(u) = \sin(C_0 \arccos(\arctg(u))), C_0 = 2,35. \quad (5)$$

Момент M_{φ} представим в виде:

$$M_{\varphi} = M_{\varphi}(\varphi) = \begin{cases} 0, \varphi \in [-\varphi^*; \varphi^*], \\ K_{\varphi} \varphi, |\varphi| > \varphi^* \end{cases}, \quad (6)$$

где K_{φ} – коэффициент жесткости.

Уравнения (1)-(6) составляют исходную математическую модель колебаний подвески шасси (рис. 1) относительно корпуса. Модель позволяет изучить колебания шиммигетных подвесок различных конструкций (с выносом и без него, с ориентирующим и неориентирующим пневмоколесом, при наличии демпферов шимми и без них) в области околоритических углов увода, если выполняется условие малого верчения пневмоколеса [9]:

$$L_v = |W_C / (d\varphi / dt)| \geq k_L R_{\pi}, \quad (7)$$

где $L_v = L_v(t)$ – вынос виртуального буксируемого пневмоколеса; $k_L \geq 1$ – коэффициент условия малого верчения; R_{π} – радиус необжатого пневмоколеса.

Приведение математической модели

Сначала исходную математическую модель приведем к безразмерному виду. Вместо (1), (3), (4), (6) получим:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\bar{z}} + \bar{L}_{cg} \ddot{\bar{\varphi}} + \bar{C}_z \dot{\bar{z}} + \bar{z} + \bar{N} f(u) &= 0, \\ \ddot{\bar{\varphi}} + \bar{L}_{cg} \ddot{\bar{z}} + \bar{C}_{\varphi} \dot{\bar{\varphi}} + \bar{M}_{\varphi} + \bar{N} f(u) \bar{L} &= 0, \\ u = (\bar{W}_A + \bar{L} \dot{\bar{\varphi}} + \dot{\bar{z}}) / (\bar{V}_A U_{cr}), \\ \bar{M}_{\varphi} &= \begin{cases} 0, \varphi \in [-\varphi^*; \varphi^*], \\ \bar{\omega}^2 \varphi, |\varphi| > \varphi^* \end{cases} \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

где точками обозначено дифференцирование по безразмерному времени $\tau = \omega_z t$, $\omega_z = \sqrt{K_z / m_n}$ и

$$\bar{z} = z / \rho; \bar{L}_{cg} = L_{cg} / \rho; \bar{L} = L / \rho; \bar{C}_z = \frac{c_z C_z}{m_n \omega_z}; \bar{N} = \frac{\mu * N}{m_n \rho \omega_z^2}; \bar{C}_\varphi = \frac{c_\varphi C_\varphi}{m_n \omega_z \rho^2};$$

$$\bar{W}_A = \frac{W_A}{\rho \omega_z}; \bar{V}_A = \frac{V_A}{\rho \omega_z}; \bar{\omega} = \omega_\varphi / \omega_z, \omega_\varphi = \sqrt{K_\varphi / J_A}; \bar{M}_\varphi = \frac{M_\varphi}{m \omega_z^2 \rho^2}.$$

Уравнения (8) нужно дополнить выражением (5) и условием малого верчения (7), которое запишем в виде следующего неравенства:

$$Kr = \frac{1}{\bar{L}_v} = \left| \frac{\dot{\varphi}}{\bar{W}_A + \dot{\bar{z}} + \bar{L} \dot{\varphi}} \right| \leq \frac{1}{k_L \bar{R}_n}, \quad (9)$$

где Kr – критерий малого верчения; $\bar{L}_v = L_v / \rho$, $\bar{R}_n = R_n / \rho$.

Теперь введем переобозначения и обозначения:

$$y_0 = \bar{z}, y_1 = \dot{\bar{z}}, y_2 = \varphi, y_3 = \dot{\varphi}, y_4 = u,$$

$$\bar{C}_\varphi y_3 + \bar{M}_\varphi (y_2) + \bar{N} f(y_4) \bar{L} = \Phi_1(y_2, y_3, y_4),$$

$$\bar{C}_z y_1 + y_0 + \bar{N} f(y_4) = \Phi_2(y_0, y_1, y_4),$$

с учетом которых систему (8) и неравенство (9) представим в виде удобном для применения ЭВМ:

$$\left. \begin{aligned} \dot{y}_0 &= y_1; \dot{y}_1 = (\Phi_1 \bar{L}_{cg} - \Phi_2) / (1 - \bar{L}_{cg}^2); \\ \dot{y}_2 &= y_3; \dot{y}_3 = (\Phi_2 \bar{L}_{cg} - \Phi_1) / (1 - \bar{L}_{cg}^2); \\ y_4 &= (\bar{W}_A + \bar{L} y_3 + y_1) (\bar{V}_A U_{cr}), \\ Kr &= |y_3 / (y_4 \bar{V}_A U_{cr})| \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Пример

Руководствуясь [2-5], примем базовые значения параметров, характерные для подвески передней опоры шасси самолета:

$\bar{\omega} = 2$; $\varphi_* = 0,05$ радиан;
 $L = 0,15$ метра;
 $c_i = 0, i = z, \varphi$; $m_n = 22$ кг;
 $R_n = 0,2$ метра;
 $\mu * N = 10$ кН; $L_{cg} / L = 0,9$;
 $U_{cr} = 0,2$ радиана; $V_A = 50$ м/с;
 $J_C = 0,1$ кгм²;
 $W_A = 1,1 (V_A U_{cr}) / (\rho \omega_z)$,
 $\omega_z = 25$ Гц.

Назначим начальные условия:

$y_0(\tau = 0) = 0,01$; $y_i(\tau = 0) = 0$

На трех фрагментах рис. 2

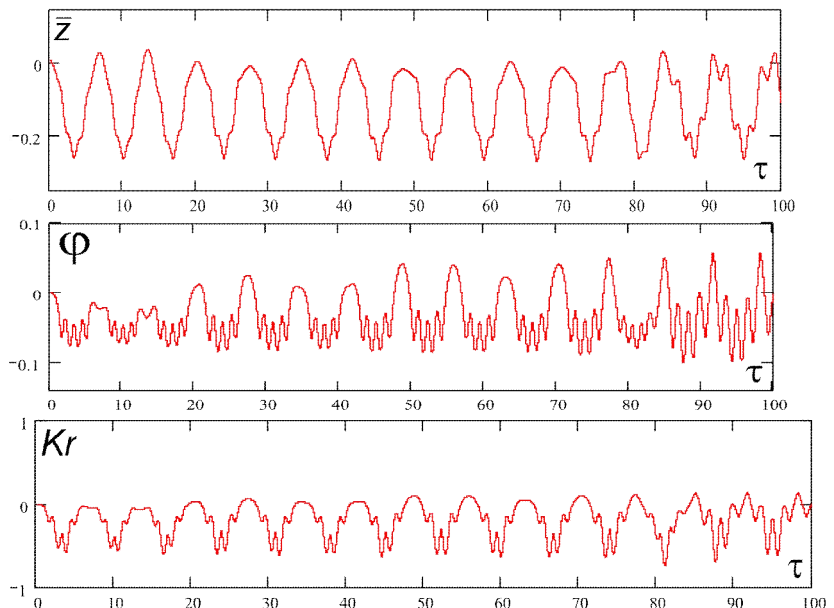


Рис. 2. Результаты моделирования

показаны результаты моделирования, полученные с помощью численного интегрирования методом Рунге-Кутты 4-го порядка уравнений (10).

Заметим, колебания происходят вблизи основного относительного угла увода равного 1,1. Для рассматриваемого случая $k_L = 1,13$.

Выводы

В рамках метода малого верчения [9] предложена механико-математическая модель колебаний подвески шасси пневмоколесной машины относительно заданным образом движущегося корпуса. Потенциально в системе возможны колебания шимми. В отличие от известных работ по шимми учтена боковая скорость корпуса и, как следствие, изучаемое движение происходит вблизи значительного угла увода пневмоколеса. Рассмотрен пример, относящийся к передней стойки шасси самолета. Наблюдаемые колебания обусловлены немонотонностью трения на шине пневмоколеса. В целом работа направлена на совершенствование математического моделирования динамики пневмоколесных машин.

Список літератури: 1.Келдыш М.В. Шимми переднего колеса трехколесного шасси [Текст] /М.В. Келдыш// Труды ЦАГИ, 1945. - №564. - 37 с. 2.Sura N.K. Closed-form analytical solution for the shimmy instability of nose-wheel landing gears [Текст]/ N.K. Sura, S. Suryanarayan// Journal of aircraft.- 2007.- Vol. 44, No 6. – P. 1985 - 1990. 3.Sura N.K. Lateral response of nonlinear nose-wheel landing gear models with torsional free play [Текст]/ N.K. Sura, S. Suryanarayan// Journal of aircraft.. - 2007.- Vol.44, No. 6. - P. 1991-1997. 4.Sura N.K. Lateral response of nose-whell landing gear system to ground-induced excitation [Текст]/ N.K. Sura, S. Suryanarayan//Journal of aircraft. – 2007.- Vol.44, No. 6. – P. 1998-2005. 5.Sura N.K. Stability and response studies on simplified modes of nose-whell landing gear with hard tires [Текст]/ N.K. Sura, S. Suryanarayan//Aerospace engineering division journal of the institution of engineers. – 2004.- Vol. 85. - P. 29-36. 6.Pacejka H.B. Tyre and vehicle dynamics [Текст]/ H.B. Pacejka. - Butterworth-Heinemann, 2006. - 642 p. 7.Журавлев В.Ф. О механизме явления шимми [Текст]/В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов//Доклады РАН. – 2009.- Т.428, №6. - С.761-764. 8.Журавлев В.Ф. Теория явления шимми [Текст]/ В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов// Изв. РАН. МТТ. – 2010.- №3. - С.22-29. 9.Шифрин Б.М. О математическом моделировании колебаний транспортных машин при уводе пневмоколес [Текст]/ Б.М. Шифрин //Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2010, 6/9(48). С.29-39.

Поступила в редколлегию 12.05.2011

УДК 612.9-621.98

А.И. БЕЛОВОД, канд. техн.наук, доц., Полтавская государственная аграрная академия

В.В. ДУДНИК, асп., Полтавская государственная аграрная академия

А.В. КАНИВЕЦ, асп., Полтавская государственная аграрная академия

А.А. ДУДНИКОВ, канд. техн. наук, проф., Полтавская государственная аграрная академия

ВЛИЯНИЕ ТРЕНИЯ НА ИЗНАШИВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Розглянуті питання класифікації процесу зношування деталей машин під час тертя.

Ключові слова: поверхня контакту, довговічність, шорсткість, коефіцієнт тертя, вібраційне зміцнення, контактне тертя

Рассмотрены вопросы классификации процесса изнашивания деталей машин при трении. Ключевые слова: поверхность контакта, долговечность, шероховатость, коэффициент трения, вибрационное упрочнение, контактное трение.

The questions of classification of process of wear of details of machines are considered at a friction. Keywords: surface of contact, longevity, roughness, coefficient of friction, oscillation work-hardening, pin friction.

Введение

При обработке металлов давлением, как правило, возникает неоднородность напряженного состояния, а следовательно, и неоднородность деформации. В связи с неоднородностью деформации отдельные слои и элементы деформируемого тела стремятся к различному изменению размеров. В результате, кроме внутренних сил, уравнивающих внешне приложенные силы, в обрабатываемом материале возникают взаимно уравнивающиеся внутренние силы, обуславливающие напряжения [1].

Возникновение дополнительных напряжений в процессе деформирования вызывает следующие нежелательные последствия при обработке металлов давлением:

- увеличение сопротивления деформированию;
- снижение пластичности;
- искажение характера распределения напряжений в обрабатываемом слое поверхности.

Одним из факторов, влияющим на процесс деформирования, является контактное трение, возникающее на поверхности соприкосновения обрабатываемой детали и обрабатывающего инструмента. Трение в ряде случаев создает неоднородное напряженное состояние, а в других случаях увеличивает степень неоднородности. Так, при обработке режущих рабочих органов сельскохозяйственных машин методом осадки в результате контактного трения однородность деформации нарушается. Снижение контактного трения уменьшает неоднородность деформации, т.е. повышает качество обрабатываемой поверхности.

Постановка проблемы

При обработке металлов давлением на поверхности трения действуют высокие давления, достигающие 250 МН/м^2 и более и происходит значительное обновление поверхности контакта инструмента с деформируемым металлом в связи с общим увеличением поверхности последнего [2].

Подавляющее число операций обработки металла деталей давлением осуществляется в условиях соприкосновения обрабатываемого металла с давящим инструментом. При этом частицы деформируемого металла скользят по поверхности инструмента, в результате чего возникают силы контактного трения, затрудняющие это скольжение.

Трение при обработке металлов давлением, в основном, является вредным фактором. Поэтому является важным проведение исследований по влиянию трения на долговечность обрабатываемого материала деталей при обычном и вибрационном деформировании.

Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме

Контактное трение приводит к увеличению необходимого деформирующего усилия и работы деформации. Увеличение усилия бывает весьма заметным – в несколько раз [3].

Большое внимание особенностям пластического трения уделил Н.М. Павлов, которым были сформулированы основные отличия его от непластического («машинного») трения [4].

При пластическом деформировании поверхность инструмента деформируется упруго, а обрабатываемый материал детали деформируется пластически; его поверхность подвергается смятию и стремится принять форму поверхности инструмента.

В результате действительная площадь контакта пластически деформируемой детали с инструментом увеличивается с повышением степени деформации и необратимо приближается к номинальной, т.е. к геометрической площади трущихся поверхностей.

Действительная площадь контакта при вибрационном деформировании растет более интенсивно.

При пластическом деформировании главное значение имеет непрерывное «обновление» поверхности контакта деформируемого тела, так как в процессе деформации на эту поверхность непрерывно поступают из глубины новые частицы металла.

По данным С.И. Губкина, при увеличении деформируемого объема от 25 до 25000 см³ коэффициент Ψ_0 уменьшается от 1 до 0,4 [5].

Исследованиями указанных авторов установлено, что контактное трение несколько снижается с увеличением относительной скорости скольжения металла по поверхности инструмента, т.е. с увеличением скорости деформирования.

Как сказано ранее, трение для подавляющего числа операций обработки металлов давлением оказывает негативное влияние. Поэтому следует принимать все возможные меры к снижению трения. Среди наиболее эффективных методов повышения качества обработки поверхности является метод вибрационного деформирования.

Результаты исследований

При трении скольжения изнашивание деталей машин происходит в первую очередь под влиянием внешних факторов, к которым следует отнести: характер нагрузки, скорость относительного перемещения трущихся тел, форма и размеры поверхности и др.

Изменение внешних факторов вызывает изменение физико-механических свойств материала пары трения и изнашивание трущихся поверхностей деталей.

При одной и той же нагрузке коэффициент и сила трения могут изменяться в широких пределах в зависимости от указанных выше факторов. При трении скольжение поверхности трения касаются ограниченными участками, количество и размеры которых зависят прежде всего от шероховатости поверхности и нагрузки.

Трение имеет двойственную молекулярно-механическую природу. Различают виды взаимодействия поверхностей: механическое зацепление

отдельных шероховатостей; молекулярное взаимодействие соприкасающихся твердых тел, проявляющееся в их притягивании.

Условия трения могут изменяться в широком диапазоне. Отдельные параметры условий трения могут принимать различные значения вследствие явлений и процессов, происходящих в поверхностных слоях металла.

Под влиянием внешних условий трения поверхностные слои существенно изменяются. Эти слои металла с новыми полученными физико-механическими свойствами, в свою очередь, вступают во взаимодействие с внешней средой. В каждом отдельном случае некоторые параметры трения могут оказывать решающее влияние на протекание процессов изнашивания.

В зависимости от условий трения и материала может иметь место тот или иной вид нарушения фрикционных связей и изнашивания. С учетом сказанного разработана классификация видов изнашивания, служащая основой для разработки направлений борьбы с изнашиванием деталей и сборочных единиц.

Металлические поверхности в процессе пластического деформирования упрочняются, микронеровности округляются. Сила и напряжение трения зависят от изменяющихся свойств деформируемого тела и закономерностей изменения их в процессе деформации. Закономерности изменения упрочнения приконтактных слоев зависят от степени и скорости деформации. По нашему мнению прочность приконтактных слоев больше прочности остальных слоев металла детали в результате дополнительных деформаций сдвига, среза неровностей при холодной деформации.

Строение поверхностного слоя и явления, возникающие в нем, имеют особое значение при протекании процесса изнашивания материала деталей машин. Состояние поверхностного слоя определяют процессы, возникающие при взаимодействии с окружающей средой или с другим телом. Кроме того, большинство видов разрушения деталей начинается с поверхности и зависит от ее состояния в результате следующих причин:

- поверхностные слои наделены избыточной энергией, поскольку молекулы и атомы этих слоев имеют свободные связи, благоприятствующие возникновению таких явлений, как когезия (схватывание), адсорбция (прилипание) и др., когда поверхностный слой приобретает особое строение;

- поверхностный слой формируется в результате разных технологических процессов, которые не только формируют необходимую форму поверхности и изменяют свойства материала, а и вызывают ряд побочных явлений, которые изменяют свойства твердого тела и его поверхности. Физико-химические параметры поверхностного слоя, его структура и напряженное состояние, как правило, существенно отличаются от свойств остального материала;

- в процессе работы соединения происходит непрерывное изменение (трансформация) параметров поверхностного слоя деталей в значительно большей мере, чем в остальном объеме.

Поэтому большинство отказов деталей машин связано с процессами, происходящими в поверхностных слоях, природу которых нельзя объяснить без анализа тех изменений, которые претерпевают характеристики поверхностного слоя при эксплуатации объектов.

Происходящие в поверхностных слоях процессы оцениваются параметрами, характеризующими их состояние:

- геометрию поверхностного слоя, включая микрогеометрию и отдельные дефекты поверхности;
- возникающие в поверхностных слоях напряжения на отдельных участках поверхности;
- структуру материала поверхностного слоя, изменяющуюся в процессе деформации.

Вследствие специфической конфигурации микронеровностей жесткость контакта в направлении движения достаточно велика, а деформация мала. Поэтому за время контакта выступы микронеровностей деформируются только в направлении действия внешнего нормального нагружения. Отдельные, наиболее выступающие микронеровности пластически деформируются даже при незначительных нагрузках, так как возникающие напряжения будут превышать предел текучести деформируемого материала вследствие малой площади контакта. С увеличением фактической площади контакта возрастает сила трения.

Увеличение трения происходит пропорционально действительной площади контакта. При этом происходит перераспределение нагрузок, в результате чего микронеровности деформируются неравномерно и имеют разные напряженные состояния. При продолжительном контакте, что имеет место при обычном деформировании, величина деформации стремится до определенного предела, а следовательно, и фактическая площадь контакта стремится до какого-то постоянного значения при заданном нагружении.

Фактическая площадь контакта изменяется больше в деталях с малой шероховатостью и существенно не изменяется в грубо обработанных деталях (рис.1).

Поскольку фактическая площадь контакта и сила трения зависят главным образом от шероховатости, физико-механических свойств материала и вида нагружения, то при решении конкретной задачи необходимо определить основной вид деформации.

При давлении металлические слои упрочняются и при повторном деформировании пластическая деформация будет осуществляться при нагрузке, превышающий предел текучести металла до упрочнения. Изменение напряжения упрочненного слоя учитывается коэффициентом C , который зависит от свойств материала и режимов деформирования:

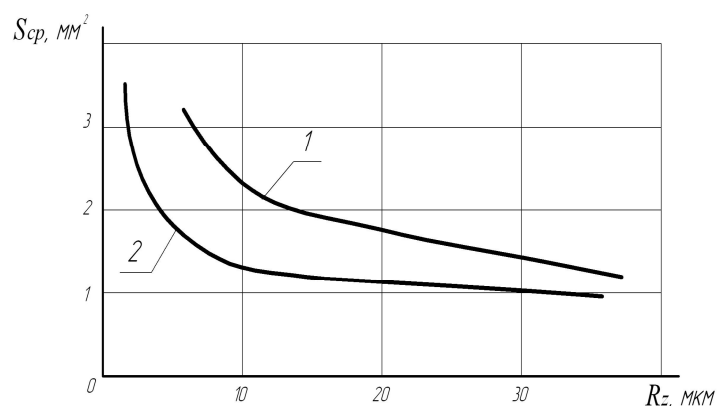


Рис. 1. Зависимости фактической площади контакта от шероховатости поверхности: 1 – бронза; 2 – сталь

$$C = \frac{h_1 E}{2,4 R_z \sigma_T}, \quad (1)$$

где h_l – изменение сближения поверхности обрабатываемой детали и инструмента; R_z – параметр шероховатости; E – модуль упругости более мягкого материала.

Исследованиями установлено, что C изменяется от 1 до 6. При вибрационном деформировании $C = 7 \dots 10$.

На величину изнашивания оказывает влияние продолжительность контакта отдельных участков.

При перемещении трущихся поверхностей с малыми скоростями скольжения возникают механические релаксационные колебания, обусловленные трением.

Вибрационное деформирование способствует уплотнению обрабатываемой поверхности и увеличению износостойкости восстанавливаемых (изготавливаемых) деталей.

В интервале давлений и скоростей, при которых металл в тонком поверхностном слое упрочняется, изнашивание деталей происходит за счет разрушения металла на отдельных, наиболее сближенных участках контакта, а также за счет абразивного изнашивания. Основной причиной, вызывающей снижение износа, является упрочнение металла при обработке давлением.

Выводы

Для увеличения долговечности деталей необходимо назначать такие режимы обработки, при которых в активном поверхностном слое происходило бы дальнейшее упрочнение металла в результате структурных изменений, вызванных пластическим деформированием. Для этого необходимо проведение дальнейших исследований для определения влияния основных факторов на протекание процесса изнашивания деталей определенной номенклатуры.

Список літератури: 1.Березкин В.Г. Формоизменение металлов при обработке давлением / В.Г. Березкин. – М.: Машиностроение, 1973. – 154 с.2.Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.3.Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка / И.В. Крагельский, В.В. Алисин. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.4.Павлов Н.М. Теория прокатки / Н.М. Павлов. – М.: Металлургия, 1965. – 610 с.5.Губкин С.Н. Пластическая деформация деталей. – М.: Металлургиздат, 1970. – 400 с.

Поступила в редколлегию 11.05.2011

УДК 629.463.65+629.463.66

В.В. ФОМІН, заст. дир. ЗАО «Донецксталь»- металлургический завод»

ОПТИМІЗАЦІЙНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТІНИ БОКОВОЇ ОКАТИШЕВОЗІВ 20-9749 ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМАЛЬНОЇ МАТЕРІАЛОЄМНОСТІ

В статті представлені особливості та результати оптимізаційного проектування елементів стіни бокової окатишевозів моделі 20-9749 за критерієм мінімальної матеріалоємності.

Ключові слова: оптимізаційне проектування, елементи стіни бокової.

В статье представлены особенности и результаты оптимизационного проектирования элементов стены боковой окатышевозов модели 20-9749 по критерию минимальной материалоемкости.

Ключевые слова: оптимизационное проектирование, элементы стены боковой.

In the article the represented features and results of the optimization planning tying elements wall of lateral gondola for okatyshey model a 20-9749 after the criterion of minimum materiyaloemkosty.

Keywords: optimization planning, elements wall lateral.

Постановка проблеми і аналіз результатів останніх досліджень

У відповідності до Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, яку затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року №1259 одним з пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі є оновлення вантажного вагонного парку Укрзалізниці конкурентоспроможними моделями вагонів вітчизняного виробництва.

Вирішення вищезазначеної задачі потребує удосконалення базових конструкцій вантажних вагонів вітчизняного виробництва за найважливішими технічними, економічними, інтегральними критеріями, які відповідають сучасному рівню техніко-економічних показників (ТЕП). Одним із найважливіших ТЕП є – матеріалоемність (тара) вагонів, зниження якої є одним із пріоритетних напрямків удосконалення їх конструкції [1, 2].

Загальновідомими шляхами зниження тари вагонів є: здійснення заходів, що забезпечують зменшення зусиль, які діють на вагон і його частини; надання вагонам і їх частинам оптимальних конструктивних форм; раціональний вибір матеріалів; удосконалення технології виготовлення і ремонту вагонів. При цьому на нинішній час одним з перспективних методів зниження матеріалоемності конструкцій вітчизняних вантажних вагонів є здійснення заходів, які спрямовані на забезпечення раціональних перерізів їх складових.

На сьогоднішній день одними з дефіцитних вантажних вагонів парку Укрзалізниці є спеціалізовані напіввагони-хопери для гарячих окатишів та агломерату (окатишевози), що обґрунтовується необхідністю вивода із експлуатації близько 90% їх парку по причині досягнення призначеного терміну служби. Це обумовлює потребу у їх поповненні. Вагомий внесок у поповнення парку окатишевозів Укрзалізниці вносить Державне підприємство «Укрспецвагон». При цьому базовою моделлю окатишевозів, які виготовляє це підприємство є модель 20-9749. Разом з цим проведені дослідження структури матеріалоемності цієї моделі вагонів [3, 4] засвідчили наявність значних резервів зниження маси складових стіни бокової модуля кузова. Вирішення зазначеної задачі на сучасному рівні потребує проведення оптимізаційного проектування елементів стіни бокової за критерієм мінімальної матеріалоемності. Але аналіз науково-технічної літератури з профілю досліджуваного питання засвідчив про відсутність проведення таких досліджень.

Мета статті та викладення основного матеріалу

В статті представлено особливості та результати оптимізаційного проектування конструктивних елементів стіни бокової окатишевозів моделі 20-9749 з метою зниження їх тари.

Конструкція стіни бокової окатишевозу моделі 20-9749 [5, 6] представлена на рис.1. Дослідження спрямоване на обґрунтований вибір форми профілів поперечних перерізів і їх відповідних геометричних параметрів для окремих конструктивних елементів (при їх незмінній довжині).

В якості об'єктів оптимізаційного проектування розглядались обв'язування верхнє (переріз А-А) та нижнє (переріз В-В), розкоси (переріз Б-Б), які виконані відповідно - з двох

зварювальних між собою швелерів 14В ГОСТ 5267.1, двох зварювальних між собою швелерів 16 ДСТУ 3436, швелеру 14В ГОСТ 5267.1 зі сталей марки 09Г2. Такий вибір обґрунтовується наявністю для вказаних елементів суттєвих розрахункових резервів міцності, які характеризуються співвідношенням діючих максимальних експлуатаційних еквівалентних напружень з їх допустимими значеннями (табл.1).

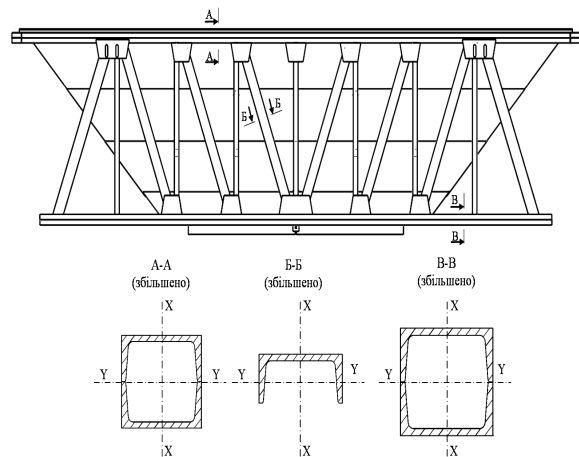


Рис.1. Конструкції стіни бокової окатишевозу моделі 20-9749

Таблиця 1. Співвідношення діючих максимальних експлуатаційних еквівалентних напружень з їх допустимими значеннями

Назва i -го елемента конструкції стіни бокової	Погонна маса $\overline{m}_i^c$, кг/м	Умовно загальна довжина l_i , м	Розрахунковий резерв міцності елемента γ , %	Осьовий момент опору W_i , см ³	Допустимий осьовий момент опору $[W_i]$, см ³
Обв'язування верхнє ($i = 1$)	33,4	18,5	38	153,9	95,5
Обв'язування нижнє ($i = 2$)	29,8	16,7	40	142,9	85,8
Розкос ($i = 3$)	16,7	24,3	52	14,7	7,1

Для вирішення поставленої задачі були проведені пошукові дослідження в ході яких варіювались різні геометричні форми та матеріали для виготовлення розглядаємих елементів конструкції. Було встановлено, що для виготовлення обв'язувань верхнього та нижнього доцільно використовувати прямокутний замкнутий профіль (рис.2а), який може бути виконаний із труби прямокутного перерізу або вигнутий з листа відповідної товщини, а в якості розкосів доцільно використовувати гнутий швелер з рівними полицями (рис.2б) зі сталей марки 09Г2. Разом з тим використання таких профілів обґрунтувало необхідність проведення досліджень з вибору оптимальних геометричних параметрів їх перерізів.

На рис.2 показано поперечні перерізи запропонованих профілів, основними геометричними параметрами яких є: δ – товщина стінки (листа, який використовується при виготовленні), h – зовнішня висота, b – зовнішня ширина.

Метою робіт є отримання оптимальних значень параметрів $(\delta_i^*, h_i^*, b_i^*)$, при яких

буде забезпечена мінімальна маса стіни бокової $m_{\min}^{cm.б.}$ при виконанні умови міцності $(\sigma_{e\max i} \leq [\sigma])$.

В такій постановці оптимізаційне проектування стіни бокової окатишевозу моделі 20-9749 за критерієм мінімальної матеріаломісткості може розглядатися як задача багатомірної оптимізації з обмеженнями [7]:

$$\begin{aligned} m^{cm.б.}(\bar{X}) \rightarrow \min, \\ \bar{X} \in D_x \in D \end{aligned} \quad (1)$$

де $m^{cm.б.}$ – маса стіни бокової (основний критеріальний показник);

$\bar{X}$ – вектор керованих змінних параметрів, складовими якого розглядаються – δ_i , b_i і h_i , інтервали варіювання яких визначають область можливих рішень D , в якій функціональними обмеженнями $[\sigma_i]$ виділяється область допустимих рішень D_x .

З урахуванням того, що величина $m^{cm.б.}$ визначається з урахуванням погонних мас кожного з виділених елементів нової конструкції $(m^{cm.б.} = \bar{m}_1^n + \bar{m}_2^n + \bar{m}_3^n)$, при проведенні відповідних етапів дослідження їх доцільно розглядати як критеріальні показники. При цьому для полегшення виконання розрахунків в якості функціональних обмежень приймалися значення допустимих осьових моментів опору $[W_1], [W_2], [W_3]$ (див. табл.1). В результаті проведених попередніх досліджень були встановлені наступні інтервали варіювання керованих змінних: обв'язування верхнє – $h=8...10\text{см}$; $\delta=0,6...1\text{см}$, $b=\text{const}=14\text{см}$; розкос – $h=8...10\text{см}$; $\delta=0,5...1\text{см}$, $b=\text{const}=16\text{см}$; обв'язування нижнє – $h=4...8\text{см}$; $\delta=0,5...1\text{см}$, $b=\text{const}=12\text{см}$.

Тоді для кожного з розглянутих елементів конструкції стіни бокової загальний математичний запис задачі оптимізаційного проектування буде мати вид:

$$\begin{aligned} \bar{m}_i^n(h_i^*, \delta_i^*) = \bar{m}_{i\min}^n \\ b_i^*, \delta_i^* \in D_{xi} \in D \end{aligned} \quad (2)$$

де h_i^*, δ_i^* – оптимальні значення параметрів h_i, δ_i , при яких забезпечується мінімальна погонна маса i -го елементу; вибираються в зоні допустимих рішень D_{xi} , яка належить загальній області можливих рішень D . Загальна область

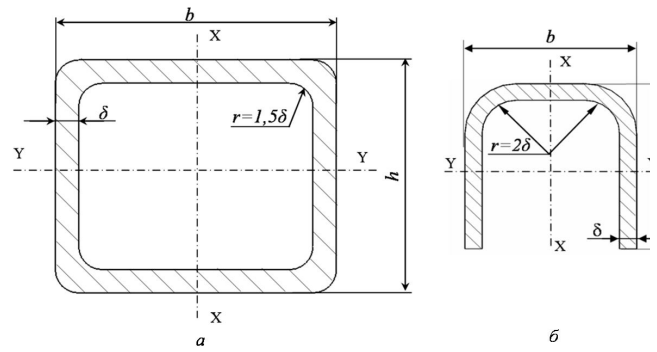


Рис.2. Перерізи запропонованих для модернізації профілів: а) профіль обв'язувань, б) профіль розкосу

можливих рішень визначається інтервалами варіювання змінних параметрів h_i, b_i .

Наприклад область допустимих рішень для обв'язування верхнього з урахуванням функціональних обмежень буде мати вид:

$$D_x = \left\{ h, \delta \left| W_x \geq 95,5 \text{ см}^3, 8 \text{ см} \leq h \leq 10 \text{ см}; 0,6 \text{ см} \leq \delta \leq 1 \text{ см}; b = \text{const} = 14 \text{ см} \right. \right\} \quad (3)$$

Обґрунтований вибір оптимальних значень геометричних параметрів перерізу h_i^*, δ_i^* виконувався на основі сумісного аналізу відповідних узагальнених математичних моделей виду: $m_{\text{ног.}}^h = f(\delta, h)$ і $W_x = f(\delta, h)$, отриманих з використанням методів математичного планування експерименту [8]. Для прикладу нижче наведено отримані математичні моделі для показників обв'язування верхнього:

$$m_{\text{ног.}}^{\text{обв.в.}} = 2,753 \cdot 10^{-13} - 6,217 \cdot 10^{-14} \cdot h + 21,588 \cdot \delta + 3,6 \cdot 10^{-15} \cdot h^2 - 3,084 \cdot \delta^2 + 1,542 \cdot h \cdot \delta; \quad (4)$$

$$W_x = 9,65 - 3,584 \cdot h + 5,465 \cdot \delta + 0,299 \cdot h^2 - 43,365 \cdot \delta^2 + 16,06 \cdot h \cdot \delta. \quad (5)$$

З використанням моделей 4, 5 будувалася допоміжний графік з ізолініями відповідних фіксованих значень контрольованих показників $m_{\text{ног.}}^{\text{обв.в.}}, W_x$, що представлено на рис.3.

Комплексний розгляд ізоліній $m_{\text{ног.}}^{\text{обв.в.}}, W_x$ дозволив виділити заштриховану область допустимих рішень D_x , координати якої визначають шукані значення досліджуваних параметрів. З графіку видно, що оптимальними значеннями перерізу будуть $h^* = 10 \text{ см}$, $\delta^* = 0,7 \text{ см}$.

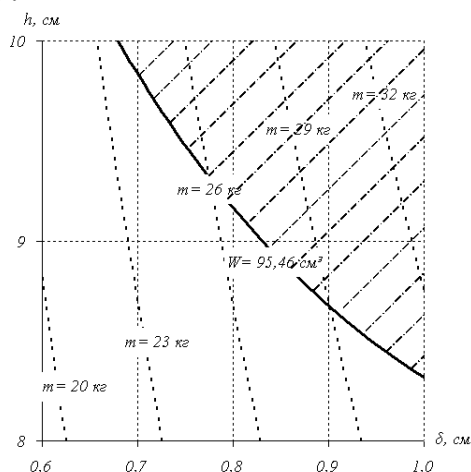


Рис.3. Допоміжний графік до визначення оптимальних параметрів перерізу нового профілю обв'язування верхнього
 - - - - - лінії рівних значень $m_{\text{ног.}}^{\text{обв.в.}} = f(h, \delta)$
 ————— лінія, що відповідає $[W_x]$
 Заштрихована зона графіку відповідає області D_x

Узагальнені результати дослідження для всіх трьох досліджуваних елементів стіни бокової представлено в табл. 2.

Практичне впровадження запропонованих технічних рішень з удосконалення конструкції стіни бокової дозволить знизити тару окатишевозу моделі 20-9749 на 470 кг. Вже це дозволить перевозити додатково близько 30 т вантажу у складі поїзда з 60 – ти таких напіввагонів-хоперів.

Таблиця 2. Узагальнені результати дослідження

Назва i -го елемента конструкції стіни бокової	h_i^* , см	δ_i^* , см	Погонна маса $\overline{m}_i$, кг/м	Розрахунковий осьовий момент опору W_i , см ³	Допустимий осьовий момент опору $[W_i]$ ($\sigma_{\max} = [\sigma]$), см ³
Обв'язування верхнє ($i = 1$)	10	0,7	24,4	97,7	95,5
Обв'язування нижнє ($i = 2$)	8,5	0,6	24,3	86,3	85,8
Розкос ($i = 3$)	5,5	0,5	8,1	7,4	7,1

Висновки і рекомендації щодо подальшого використання

Висвітлені у статті результати впровадження запропонованого підходу до використання конструкційних резервів зниження матеріалоємності складових конструкцій окатишевозів засвідчили його доцільність та ефективність.

Використання запропонованого підходу для модернізації інших елементів конструкції вітчизняних напіввагонів-хоперів для гарячих окатишів та агломерату дозволить суттєво поліпшити їх ТЕП, що позитивно вплине на підвищення показників рентабельності їх експлуатації та конкурентоспроможності залізничного транспорту.

Список літератури: 1.Шадур Л.А. Вагоны [Текст]/. Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Л.А. Шадура. М., «Транспорт», 1973. - 440 с. 2.Конструирование и расчет вагонов [Текст]: учебник для вузов ж-д. трансп./ В.В.Лукин, Л.А.Шадур, В.Н.Котуранов, А.А.Хохлов, П.С.Анисимов.; под общ. ред. В.В.Лукина. - М.: УМК МПС России, 2000. 728с. 3.Мороз, В.І. Формалізоване описання конструкції залізничних напіввагонів-хоперів для гарячих окатишів та агломерату [Текст]/ В.І. Мороз, О.В. Фомін, В.В. Фомін // 3б. наук. праць. – Луганськ: СЛУ ім. В.Даля, 2011. – Вип.№.1(155) Ч.2.- С.150-157 3.Фомін, В.В. Визначення структури матеріалоємності напіввагону-хоперу для гарячих окатишів та агломерату з використанням блочно-ієрархічного описання його конструкції [Текст]/ В.В. Фомін // 3б. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип.№.25.- С.115-120 4.Вагон-хопер чотиривісний для гарячих окатишів та агломерату моделі 20-9749 Технічні умови [Текст] ТУ У 35.2.–01124454-035:2005. м. Київ.5.Альбом чертежей К28.04-00.00.00.0-00 «Вагон-хоппер четырехосный для горячих окатышей и агломерата. Модель 20-9749». Киевское ПКТБ по вагонам 2005г. м. Київ.6.Дитрих, Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. [Текст]/ Я.Дитрих.– М.: Мир, 1981. – 456 с.7.Математическая теория планирования эксперимента [Текст]/ Под ред. С.М.Ермакова – М.: Наука, 1983. – 392 с.

Поступила в редколлегию 11.05.2011

УДК 621.757

С.В. РОМАНОВ, канд.техн.наук, ст. викл., УПА, Харків

МОДУЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ІНДУКЦІЙНИМ НАГРІВОМ

У роботі розглядається задача побудови системи управління індукційними нагрівачами, сконструйованими за модульним принципом. Визначені вимоги до систем живлення модульних індукційних нагрівачів і запропонована узагальнена структурна схема таких систем. Ключові слова: індукційний нагрівач, модульний принцип, система управління.

В работе рассматривается задача построения системы управления индукционными нагревателями, сконструированными по модульному принципу. Определены требования к системам питания модульных индукционных нагревателей и предложена обобщённая структурная схема таких систем.

Ключевые слова: индукционный нагреватель, модульный принцип, система управления.

A task is in-process examined of construction of control system by induction heaters, constructed on module principle. Certain requirement to the systems of feed of module induction heaters and the generalized flow diagram of such systems is offered.

Keywords: induction heater, module principle, control system.

У механоскладальному і ремонтному виробництвах для складання або розбирання з'єднань з натягом, а так само розбирання з'єднань з адгезійним зв'язком, застосовується індукційний спосіб нагріву деталі з'єднання, що охоплює, для створення технологічного проміжку або руйнування адгезійних зв'язків. Найбільш висока швидкість нагріву, електричні і теплові характеристики досягаються за допомогою соленоїдного індуктора охоплюючого типу. Істотний недолік таких нагрівачів, це їх низька універсальність - можливо нагрівати 2-3 типи деталей. Це обумовлено тим, що збільшення проміжку між внутрішньою поверхнею індуктора і деталлю різко погіршує умови нагріву із-за послаблення магнітного поля, що впливає на деталь. Следствием є падіння електричного ККД -

Більшої універсалізації дозволяє досягти застосування індукційного устаткування, побудованого за модульним принципом. Під модульністю розуміється можливість нарощування числа індукційних котушок як для розподілу джерел теплової енергії уздовж осі деталі на одній позиції, так і зміна числа позицій нагріву.

Управління процесом нагріву за допомогою такої модульної системи вимагає особливий алгоритм роботи індукційних котушок.

Для забезпечення економічності нагріву необхідно щоб в кожен момент часу сумарна споживана потужність нагрівача не перевищувала б допустиму для електромережі. Крім того, необхідно забезпечити рівномірне завантаження фаз, щоб виключити вплив нагрівача на інших споживачів електроенергії.

Необхідний алгоритм функціонування забезпечує трипозиційна система управління (СУ), структурна схема якої представлена на рис. 1

Ця схема припускає можливість нарощування модулів нагріву МН. Тут ТБ - транзисторний генератор; ИН - індукційний нагрівач; Про - об'єкт, що нагрівається; Д - датчики аналогових параметрів; АЦП - аналогово-цифрові перетворювачі; МК - мікропроцесорний контролер; УВВиО - пристрій введення-виводу і відображення інформації; ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач; ШД - шина даних

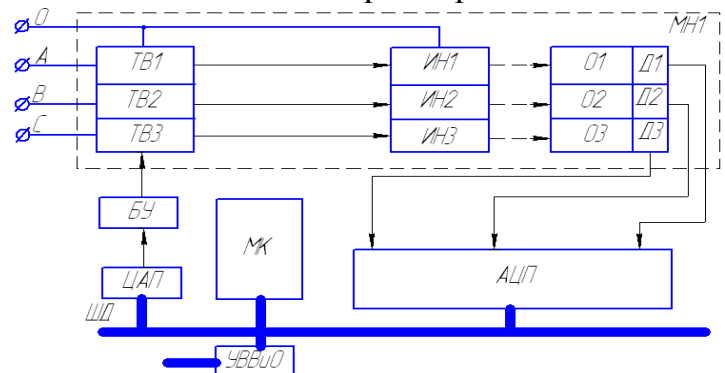


Рис. 1. Схема СУ для модульних нагрівачів

мікроконтролера; БУ - блок управління.

Сучасний транзисторний генератор стає невід'ємним елементом індукційно-нагрівальної установки (ІНУ) на промислових, підвищених і високих частотах й являє собою сплав силової електроніки, різноманітних вузлів управління, виконаних на швидкодіючих аналогових і цифрових компонентах, об'єднаних у єдину систему мікроконтролерами, технологією розподілених систем управління й людино-машинного інтерфейсу.

Контури й алгоритми управління ІНУ.

У наведеній на рис. 2 схемі у верхньому ряді представлені основні силові вузли ІНУ, у нижньому - вузли управління й зв'язку між ними. Активний випрямляч (АВ), фільтри (Ф), широтно-імпульсний перетворювач (ШИП), транзисторний інвертор (И) і пристрій узгодження (УС) утворюють систему живлення індукційного нагрівача (ИН). Електропривод (ЕП) знаходить

застосування у вузлах завантаження/вивантаження, нерідко - для організації поступального або зворотного-поступального руху заготовки в декількох індукторах для

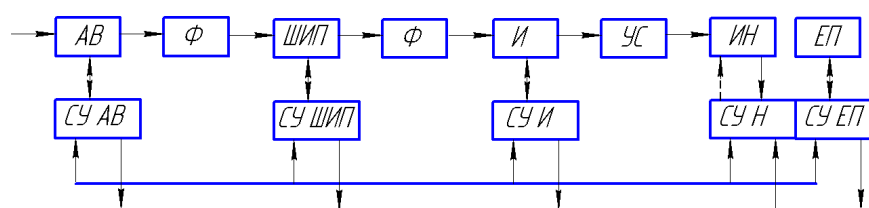


Рис. 2. Узагальнена структура технологічної установки індукційного нагріву

забезпечення необхідного розподілу температури.

Система управління нагріванням (СУ Н) є провідною серед вузлів управління. Вона визначає завдання для вузлів управління системи живлення й електропривода по заданій програмі або за показниками датчиків температури й поточному завданню. Система управління електроприводом (СУ ЕП) крім системи порушення регульованого транзисторного перетворювача включає датчики становища-переміщення заготівель, що нагрівають.

Серед пристроїв силової електроніки джерела живлення найбільш важливими й складними в керуванні є активний випрямляч, що забезпечує зниження впливу нелінійності перетворювача (як навантаження) на живильну мережу й транзисторний інвертор, що забезпечує необхідну частоту струму в навантаженні, як правило, виконаний за схемою інвертора напруги або інвертора струму. Нерідко до них додається широтно-імпульсний перетворювач для регулювання потоку енергії, що поставляє від випрямляча до інвертора. Блок узгодження, як правило, не містить керованих елементів, іноді використовуються силові контактори для підстроювання ємності, що компенсує, або витків трансформатора, що виконують перемикання в паузах протікання струму.

Вимоги до системи живлення в ІНУ:

1. Здатність енергетично ефективно працювати на індукційне навантаження в заданому діапазоні частот із широким діапазоном зміни параметрів (L й R) як у ході одного технологічного процесу, так і при зміні виробу, що нагріває, і індукційної системи.
2. Можливість глибокого регулювання вихідної потужності з вибором закону (стабілізація або по програмі) і параметра регулювання (потужність, струм, напруга).

Нерегульований випрямляч на діодах й, особливо, регульований на тиристорах мають небажаний гармонійний состав струму споживаного від мережі.

Алгоритми управління потужними (трифазними) активними випрямлячами перебувають у стадії активного розвитку [1], як у плані гармонійного состава споживаного струму, так і по шляху оптимізації числа й варіантів розміщення датчиків зворотного зв'язку. Для зниження габаритів фільтрів Вч-гармоник (20...200 кгц) на вході випрямляча використовують безперервний режим роботи. Варіації в керуванні Вч-ключами зводяться до вибору компромісу між способами з постійною частотою управління й самозбудження за критеріями складності реалізації й мінімізації потужності втрат у силових вентилях. Для спрощених алгоритмів управління існують готові спеціалізовані мікросхеми управління - Infineon TDA4862, Motorola MC33261/2, MC34167, MC33167, Thomson L6560 [2]. Більше складні й ефективні алгоритми вимагають застосування програмувальних контролерів і цифрових сигнальних процесорів [3].

Важливо відзначити, що АВ дозволяють регулювати вихідну напругу в деяких межах (20...40 %), що можна використати безпосередньо або для стабілізації випрямленої напруги Ud.

Способи регулювання потужності на виході транзисторного перетворювача:

1. Частотне согласуюче регулювання інвертора, що працює на високодобротний резонансний контур.
2. Фазове регулювання в інверторі шляхом затримки імпульсів управління одного плеча, стосовно іншого.
3. Регулювання напруги живлення інвертора з використанням широтно-імпульсного перетворювача (ШИП).

ШИП будується за схемою переривника, що знижує напругу за рахунок зменшення тривалості імпульсу пропущення струму при постійній частоті управління (20...50 кгц). Для порушення імпульсів управління сьогодні знаходять застосування як спеціалізовані мікросхеми з аналоговим управлінням, так й убудовані в більшість сучасних мікроконтролерів (МК) блоки цифрових лічильників, що працюють у режимі формування ШИМ.

Стримуючим фактором у застосуванні ШИП у якості основного регулюючого елемента є проблема зниження комутаційних втрат у силовому ключовому транзисторі, що вирішується вдосконалюванням динамічних властивостей розроблювачами IGBT і застосуванням спеціальних схем - снабберів з допоміжними керованими ключами.

При використанні схеми інвертора напруги найменші комутаційні втрати забезпечуються деяким індуктивним розладом резонансного контуру [4]. При цьому зберігаються можливості частотного й фазового регулювання.

При використанні схеми інвертора струму (ІТ) гарантія режиму роботи на частоті резонансу дозволяє мати комутацію з нульовою напругою й не використати послідовні діоди, що відтинають. У цьому режимі інвертор не може використатися для регулювання потужності.

В обох випадках система порушення інверторів повинна сама підбудовувати частоту й фазу імпульсів управління з урахуванням варіації параметрів

індукційної системи. Для цього застосовується принцип самозбудження (особливо застосуємо в ИТ), або частотний спосіб з незалежним порушенням і фазовим автопідстроюванням.

З урахуванням високої добротності індукційної системи (5...20) тут неприйнятний принцип цифрового перетворення код-частота, тому в СУ інверторів напруги знаходять застосування спеціалізовані мікросхеми фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), що складаються з генератора керованого напругою й фазовим компаратором. Останній забезпечує задану фазу між переднім фронтом імпульсу управління й переходом струму інвертора через нуль.

Достоїнства перетворювачів для індукційних установок:

1. Універсальне джерело живлення для різних варіантів технологічних застосувань.
2. Модульність у нарощуванні потужності як при роботі на один індуктор (рис. 3 а), так і на багатосекційні індукційні системи (рис. 3 б).
3. Транзисторний генератор - як ядро системи автоматизації технологічної установки. Алгоритми регулювання (температури) технологічної установки: а) управління «по моделі» - таблична реалізація; б) з ОС (по температурі).

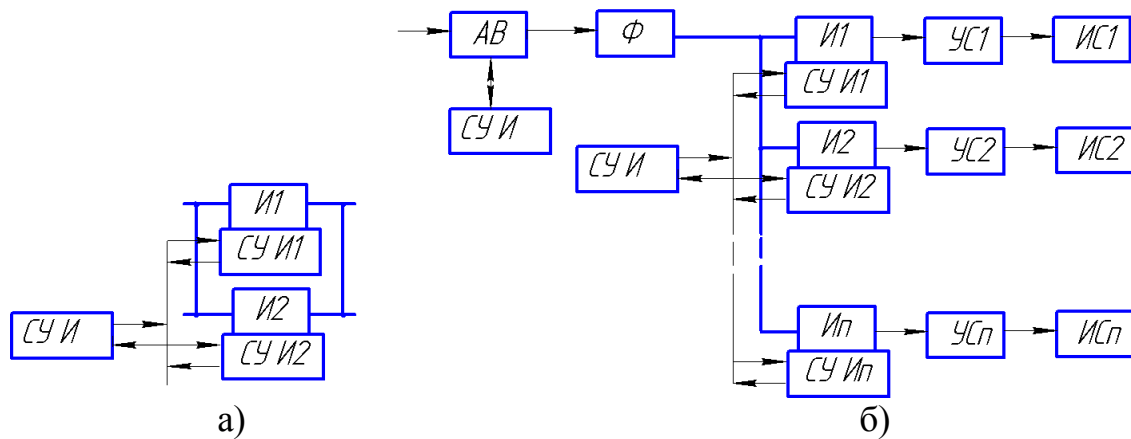


Рис. 3. Варіанти побудови багатоланкових систем живлення ІНУ

Переваги складної структури ИП з безліччю порівняно високочастотних ключових осередків проявляються тільки при грамотному сполученні режимів роботи (алгоритмів управління), конструкції силового осередку (включаючи силову ошиновку з мінімізацією паразитних індуктивностей у контурах комутації) і правильного вибору силових транзисторів і ланцюгів управління й захисти (драйверів) до них. Все перераховане вище висуває високі вимоги до кваліфікації й досвіду розроблювача: крім гарних конструкторських навичок потрібні глибокі знання в електротехніці й сучасній елементній базі, розуміння природи скороминучих фізичних процесів, особливо при комутаціях, а також володіння сучасним апаратом моделювання процесів в електронних схемах. Тому, базові силові вузли - інвертора, ШИП, активного випрямляча - повинні розроблятися досить ретельно (і довго) і вдосконалюватися не по логіці побудови того або іншого ИП, а в міру розвитку елементної бази силової електроніки й технологій сучасного монтажу. А от об'єднання цих якісних силових вузлів у систему живлення, що відповідає конкретному й досить широко варійованому набору вимог з боку технологічного процесу (ІНУ) - це вже чисто системне

завдання, і одним з важливих інтегруючих компонентів цієї системи виступають вузли й зв'язки міжблочного рівня.

Список літератури: 1. *Kolar, J.W.* Design and Experimental Investigation of a Three-Phase High Power Density High Efficiency Unity Power Factor PWM (Vienna) Rectifier Employing a Novel Integrated Power Semiconductor Module: Kolar, *J.W.*, Ertl, *H.*, Zach, *F.C.*/ Proceedings of the 11th IEEE Applied Power Electronics Conference, San Jose (CA), USA, March 3-7, Vol.2, pp.514-523 (1998). 2. Микросхемы для современных импульсных источников питания // Энциклопедия ремонта. - 1999 . - М: ДОДЭКА, - №11. - 288 с. 3. *Солонина, А.И.* Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов /Солонина, *А.И.*, Улахович, *Д.А.*, Яковлев, *Л.А.* - СПб.: БХВ-Петербург - 2001. - 464 с. 4. *Бондаренко, Д.Н.* Коммутационные процессы в транзисторных инверторах для индукционного нагрева/ Бондаренко, *Д.Н.*, Дзлиев, *С.В.*, Патанов, *Д.А.*// Изв. ГЭТУ. - 1996. - № 497. - С.98-110.

Поступила в редколлегию 12.05.2011

УДК 519.683:517.9:629.36

О.Я. НІКОНОВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ ПІДСИСТЕМИ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ СЛІДКУЮЧИХ ПРИВОДІВ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У статті розглянута задача параметричного синтезу інформаційно-керуючої підсистеми електрогідравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів на основі методів імітаційного моделювання. Отримані оптимальні значення варійованих параметрів регулятора.

Ключові слова: параметричний синтез, інформаційно-керуюча система, електрогідравлічний слідкуючий привід, транспортний засіб.

В статье рассмотрена задача параметрического синтеза информационно-управляющей подсистемы электрогидравлических следящих приводов многоцелевых транспортных средств на основе методов имитационного моделирования. Получены оптимальные значения варьированных параметров регулятора.

Ключевые слова: параметрический синтез, информационно-управляющая система, электрогидравлический следящий привод, транспортное средство.

In paper the problem of parametric synthesis of informational-controlling subsystems of electrohydraulic servo drives of multi-purpose vehicles on the basis of methods imitative simulation is considered. Optimum values of the varied parameters of a regulator are obtained.

Keywords: parametric synthesis, informational-controlling system, electrohydraulic servo drive, vehicle.

Постановка проблеми

Результати фундаментальних досліджень зі створення інтелектуальних транспортних систем та технологій і прикладні розробки систем моніторингу транспортних комунікацій, які виконані науковцями Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» і Харківського національного автомобільно-дорожнього університету доводять необхідність розроблення багатоцільових інтелектуальних систем моніторингу транспортних засобів на основі телематики, мехатроніки та синергетичного підходу [1-3]. Тому задача

синтезу інформаційних систем та комплексів транспортних засобів є надзвичайно важливою і актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для параметричного синтезу систем високого порядку в останні роки широке застосування набирають методи імітаційного моделювання, зокрема метод факторного експерименту [4, 5]. Цей метод дозволяє на основі моделювання поведінки системи у випадковому зовнішньому середовищі здійснити вибір її параметрів, що задовольняють вимогам мінімуму функції регресії. Також отримали подальший розвиток методи еволюційного моделювання. Аналогічно штучним нейронним мережам, методи еволюційного моделювання виникли в результаті спостереження й спроб копіювання природних процесів, що відбуваються у світі живих організмів, зокрема, еволюції й пов'язаної з нею селекцією (природного добору) популяцій живих істот. Ці методи є високоефективним інструментом при розробці програмного забезпечення, у системах штучного інтелекту, оптимізації і т.д. [6-8].

Формулювання мети

Метою роботи є параметричний синтез інформаційно-керуючої підсистеми електрогідравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів високої прохідності, що знаходяться під впливом зовнішніх випадкових збурень, з урахуванням нелінійних характеристик об'єкту керування.

Параметричний синтез інформаційно-керуючої підсистеми

Розглянемо електрогідравлічні слідкуючі приводи багатоцільових транспортних машин високої прохідності на прикладі системи наведення і стабілізації гармати танка у вертикальній площині [9-11].

Обираючи в якості варійованих параметрів коефіцієнти k_φ і k_ω [11], а в якості параметрів оптимізації функціонал

$$I = M \left[\int_{t_1}^T t |\Delta\varphi_z(t)| dt \right], \quad (1)$$

а при $M_{зБ}(t) = 0$ функціонал (1) трансформується у $I = \int_{t_1}^T t |\Delta\varphi_z(t)| dt$, за допомогою теорії факторного експерименту [4, 5] відшукаємо значення варійованих параметрів регулятора, що надають мінімум функціоналу (1), для системи наведення і стабілізації гармати [11].

На рис. 1 точки a , b відповідають мінімуму цільової функції (1) без і з урахуванням $W_{H_1}(A_{H_1})$ відповідно. Параметри для (1): $t_1 = 0.25$ с, $T = 5$ с. Для випадку без урахування $W_{H_1}(A_{H_1})$ – $I = 0.005958$, $k_\varphi^* = 199.5$, $k_\omega^* = 16.3$. Для випадку з урахуванням $W_{H_1}(A_{H_1})$ – $I = 8.186339$, $k_\varphi^* = 323.2$, $k_\omega^* = 21.0$.

На рис. 2 представлені перехідні процеси замкненої системи наведення і стабілізації гармати при отриманих значеннях варійованих параметрів регулятора k_φ^* і k_ω^* для випадку без урахування $W_{H_1}(A_{H_1})$. Як видно, перехідні процеси носять плавний характер без значних коливань. Величина перерегулювання $\varphi_z(t)$ склала 0.5%.

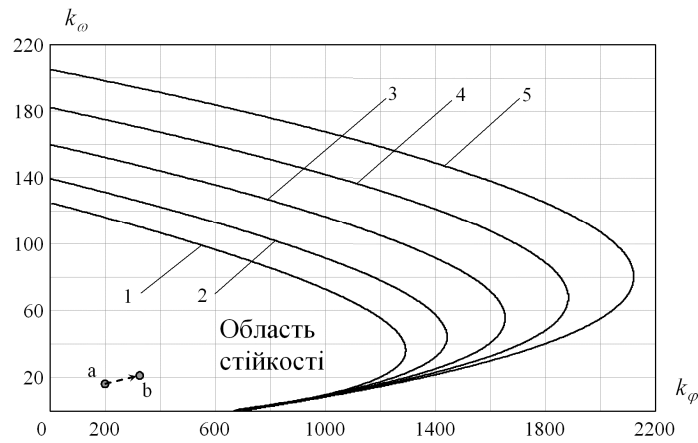


Рис. 1. Область стійкості замкненої системи наведення і стабілізації гармати з урахуванням нелінійної ланки типу зона обмеження:

1 – $A_{H_1}/b_{H_1} = 1$; 2 – $A_{H_1}/b_{H_1} = 1.25$; 3 – $A_{H_1}/b_{H_1} = 1.5$; 4 – $A_{H_1}/b_{H_1} = 1.75$; 5 – $A_{H_1}/b_{H_1} = 2$

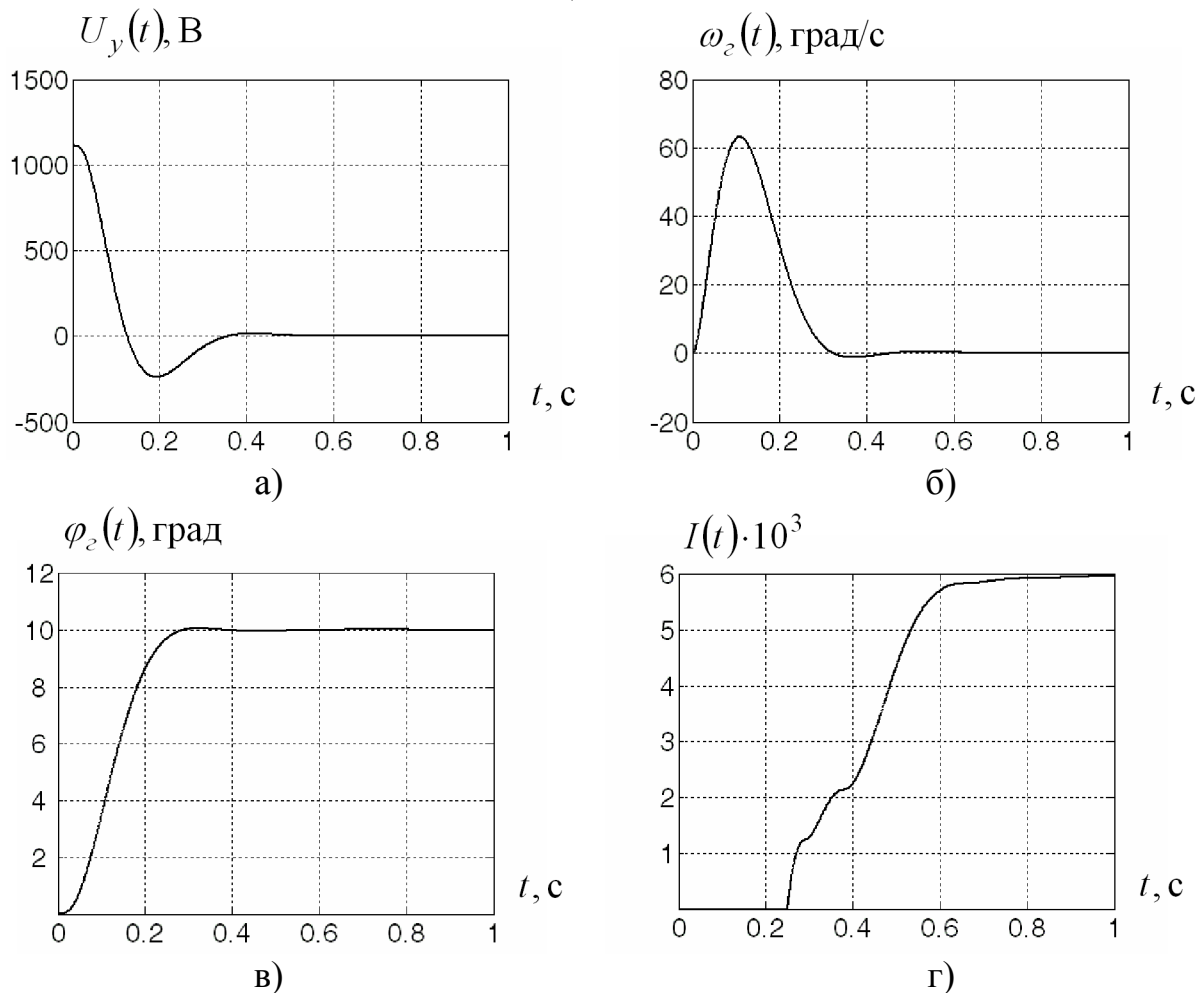


Рис. 2. Перехідні процеси замкненої системи наведення і стабілізації гармати при $k_{\varphi}^* = 199.5$, $k_{\omega}^* = 16.3$: з напруги управління $U_y(t)$ (а), кутової швидкості гармати $\omega_z(t)$ (б) та куту повороту гармати $\varphi_z(t)$ (в); а також цільової функції $I(t)$ (г)

На рис. 3 представлені перехідні процеси замкненої системи наведення і стабілізації гармати при отриманих значеннях варійованих параметрів регулятора

k_φ^* і k_ω^* для випадку з урахуванням $W_{H_1}(A_{H_1})$. Як видно, перехідні процеси носять плавний характер без значних коливань. Величина перерегулювання $\varphi_z(t)$ склала 0.1%.

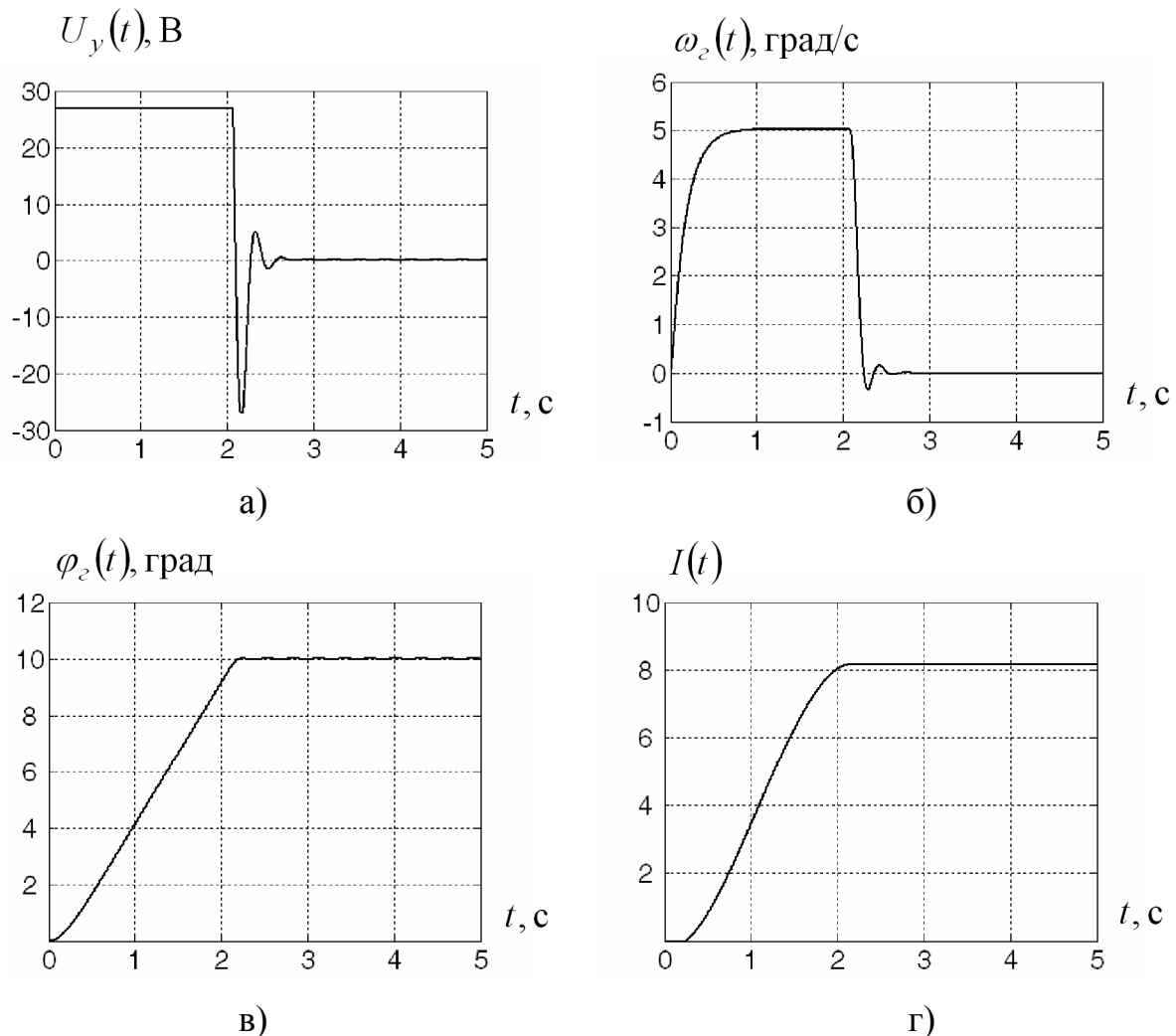


Рис. 3. Перехідні процеси замкненої системи наведення і стабілізації гармати при $k_\varphi^* = 323.2$, $k_\omega^* = 21.0$: з напруги управління $U_y(t)$ (а), кутової швидкості гармати $\omega_z(t)$ (б) та куту повороту гармати $\varphi_z(t)$ (в), а також цільової функції $I(t)$ (г)

На рис. 4 і 5 приведено границі області стійкості замкненої системи наведення і стабілізації гармати в площині варійованих параметрів регулятора k_φ і k_ω з урахуванням нелінійної ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення, де a , b , c – точки мінімуму цільової функції (1) без і з урахуванням $W_{H_1}(A_{H_1})$, $W_{H_2}(A_{H_2})$ відповідно [11]. Для випадку з урахуванням $W_{H_1}(A_{H_1})$ і $W_{H_2}(A_{H_2})$ на основі методу факторного експерименту отримаємо: $I = 8.190428$, $k_\varphi^* = 607.1$, $k_\omega^* = 49.9$. Параметри для (1): $t_1 = 0.25$ с, $T = 5$ с.

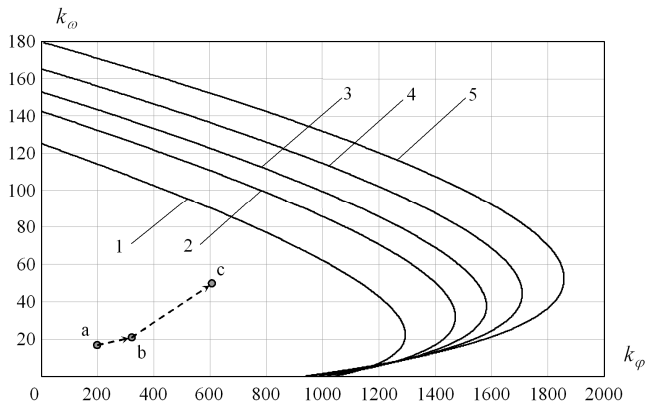


Рис. 4. Область стійкості замкненої системи наведення і стабілізації гармати з урахуванням нелінійної ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення при $A_{H_2}/b_{H_2} = 2:1 - k_{H_2} = k_{H_3}$; 2 – $k_{H_2} = 0.8 k_{H_3}$; 3 – $k_{H_2} = 0.7 k_{H_3}$; 4 – $k_{H_2} = 0.6 k_{H_3}$; 5 – $k_{H_2} = 0.5 k_{H_3}$

Як видно з рис. 4, введення в систему нелінійної ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення розширює область стійкості замкненої системи наведення і стабілізації гармати (при $k_{H_2} = k_{H_3}$ (крива 1) область стійкості повністю збігається з областю стійкості лінійної системи).

Оптимальна точка с в цьому випадку переміщується в область підвищених коефіцієнтів k_{φ} і k_{ω} . Вищезазначене дозволяє підвищити надійність і точність замкненої системи наведення і стабілізації.

Як видно з рис. 5 при $A_{H_2}/b_{H_2} = 100$ вираз $W_{H_2}(A_{H_2}) \rightarrow k_{H_3}$, а область стійкості наближається до лінійної.

На рис. 6 представлені перехідні процеси замкненої системи наведення і

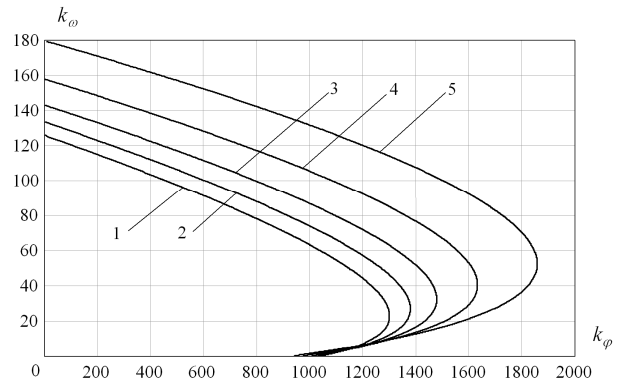


Рис. 5. Область стійкості замкненої системи наведення і стабілізації гармати з урахуванням нелінійної ланки зі змінним коефіцієнтом підсилення при $k_{H_2} = 0.5 k_{H_3}$: 1 – $A_{H_2}/b_{H_2} = 100$; 2 – $A_{H_2}/b_{H_2} = 10$; 3 – $A_{H_2}/b_{H_2} = 5$; 4 – $A_{H_2}/b_{H_2} = 3$; 5 – $A_{H_2}/b_{H_2} = 2$

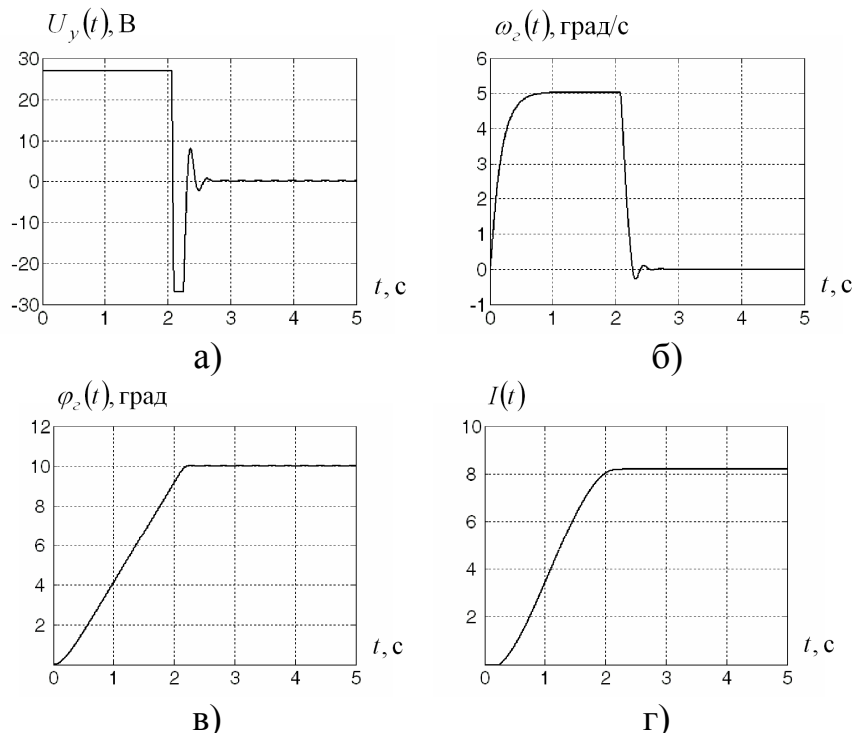


Рис. 6. Перехідні процеси замкненої системи наведення і стабілізації гармати при $k_{\varphi}^* = 607.1$, $k_{\omega}^* = 49.9$: з напруги управління $U_y(t)$ (а), кутової швидкості гармати $\omega_c(t)$ (б) та куту повороту гармати $\varphi_c(t)$ (в), а також цільової функції $I(t)$ (г)

стабілізації гармати при отриманих значеннях варійованих параметрів регулятора k_φ^* і k_ω^* для випадку з урахуванням $W_{H_1}(A_{H_1})$ і $W_{H_2}(A_{H_2})$. Величина перерегулювання $\varphi_z(t)$ склала 0.1%.

Для ще більш позитивного результату при використанні змінної структури необхідно використовувати більш складний закон зміни структури системи, але це може знизити надійність системи в цілому, за рахунок додаткових елементів і зв'язків.

Виводи

В статті здійснено параметричний синтез інформаційно-керуючої підсистеми електрогідравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів високої прохідності, що знаходяться під впливом зовнішніх випадкових збурень, з урахуванням нелінійних характеристик об'єкту керування.

Список літератури: 1. *Алексієв В.О.* Управління розвитком транспортних систем / В.О. Алексієв. – Харків: ХНАДУ, 2008. – 268 с. 2. *Алексієв О.П.* Телематика, мехатроника та синергетика на автомобільному транспорті / О.П. Алексієв, В.О. Алексієв, О.І. Туренко // Автомобильный транспорт. – 2009. – №25. – С. 266-270. 3. *Александров Е.Е.* Параметрическая оптимизация многоканальных систем автоматического управления / Александров Е.Е., Борисюк М.Д., Кузнецов Б.И. – Харьков: Основа, 1995. – 272 с. 4. *Адлер Ю.П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. – М.: Наука, 1976. – 280 с. 5. *Александрова И.Е.* Имитационное моделирование / Александрова И.Е. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. – 93 с. 6. *Рутковская Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 452 с. 7. *Fogel D.B.* Evolutionary Computation. Towards a New Philosophy of Machine Intelligence / D.B. Fogel – IEEE Press, 1995. – 236 p. 8. *Holland J.H.* Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence / J.H. Holland. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p. 9. *Александров Е.Е.* Параметрический синтез систем стабилизации танкового вооружения / Александров Е.Е., Богаенко И.Н., Кузнецов Б.И. – К.: Техника, 1997. – 112 с. 10. *Ніконов О.Я.* Розроблення інформаційно-структурної схеми електрогідравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів / О.Я. Ніконов, В.Ю. Улько // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. – № 57. – С. 214-220. 11. *Ніконов О.Я.* Побудова нелінійної математичної моделі електрогідравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів / О.Я. Ніконов, В.Ю. Улько // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – № 9. – С. 108-113.

Поступила в редколлегию 12.05.2011

УДК 621.73

С.Б. КАРГИН, аспирант, ПГТУ, Мариуполь

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОВКИ ВАЛОВ

Розглянуті питання кування валів із застосуванням трьохпроменевих і чотирипроменевих заготовок. Методом кінцевих елементів за допомогою програми Qform встановлений характер розподілу деформацій при обтисканні заготовок. Запропонована оптимальна технологія кування валів комбінованими і вирізними бойками, що дозволяє збільшити продуктивність і якість поковок.

Рассмотрены вопросыковки валов с применением трехлучевых и четырехлучевых заготовок. Методом конечных элементов с помощью программы Qform установлен характер распределения деформаций при обжатии заготовок. Предложена оптимальная технологияковки валов комбинированными и вырезными бойками, позволяющая увеличить производительность и качество поковок.

The questions of forging of billows are considered with the use of three-radial and quadriradiate purveyances. The method of eventual elements by the program Qform is set character of distributing of deformations at wringing out of purveyances. Optimum technology of forging of billows the combined and carved firing-pins is offered, allowing to increase the productivity and quality of pokovok.

На современном этапе развития промышленности для изготовления ответственных и крупных уникальных валовковка является единственным способом производства. Поэтому интенсификация процессаковки и дальнейшее его совершенствование отвечает насущным требованиям высокоразвитой промышленности. Основными операциями, применяемыми в настоящее время для улучшения качества осевой зоны поковок типа валов, являются осадка и протяжка. Введение в технологиюковки операции осадки значительно повышает трудоемкость и удлиняет технологический цикл изготовления поковок. В связи с этим возникает задача сокращения технологического процессаковки при сохранении качества конечного изделия.

Перспективным направлением следует считатьковку крупных слитков без осадки. Используются инновационные технологии [1, 2] с применением литой трехлучевой заготовки. Успешное применение таких слитков [3] свидетельствует о том, что при этом можно исключить биллетировку и осадку, значительно сократить продолжительностьковки, уменьшить количество выносов и угар металла. Однако, как отмечается в работе [4], применение литого трехлучевого слитка не всегда обосновано с экономической точки зрения, учитывая необходимость изготовления специальных изложниц.

Нами разработана конструкция специальных профилированных бойков используя которые были получены кованая трехлепестковая и четырехлепестковая заготовки [5, 6]. Исследования показали, что применение предложенных бойков способствует сосредоточению максимальных деформаций в осевой зоне исходного слитка на начальной стадииковки за счет изменения формы поперечного сечения исходной заготовки [7]. Целью настоящей работы было определение оптимальной технологииковки трехлучевого слитка в комбинированных бойках и четырехлучевого – в вырезных бойках.

Для исследования характера распределения деформаций при протяжке применили метод конечных элементов (МКЭ, программа Qform). Протяжку слитка с трехлучевым сечением можно проводить по двум схемам: с укладкой выступа трёхлепесткового слитка в вырез нижнего бойка или в сторону верхнего плоского бойка (см. рис. 1 а, б).

Установили, что обжатие по второй схеме (см. рис. 1 б) обеспечивает более равномерное распределение деформаций по сечению заготовки, чем по первой (см. рис. 1 а) – меньшую площадь застойных зон, что объясняется наличием

значительных деформаций сдвига, за счёт смещения макрообъёмов металла в вырез нижнего бойка.

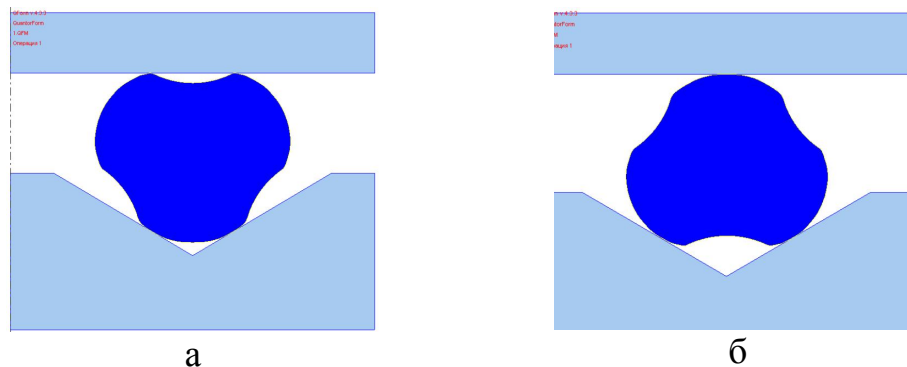


Рис. 1 Варианты расположения трёхлучевой заготовки в комбинированных бойках

При обжатии на одну и ту же степень деформации за нажим пресса величина накопленной деформации примерно одинакова для двух схем. При этом по второй схеме форма заготовки больше приближена к симметричной, что уменьшит трудоёмкость дальнейшейковки при перетяжке на круг. Поэтому дальнейшее исследование проработки структуры металла по результатам распределения деформаций целесообразно проводить для второй схемы (см. рис. 1 б).

После кантовки полуфабриката, полученного на предыдущем переходе, на 90° и дальнейшем обжатии получаем округлую форму поперечного сечения заготовки (см. рис. 3). Полученный профиль требует незначительной обкатки до получения сечения, близкого к кругу, при этом не произойдёт значительного накопления деформаций в теле поковки, поэтому дальнейшая кантовка и моделирование не представляет исследовательского интереса. Можно предположить, что этого перехода достаточно для получения информации о деформированном состоянии при протяжке по предложенной схеме.

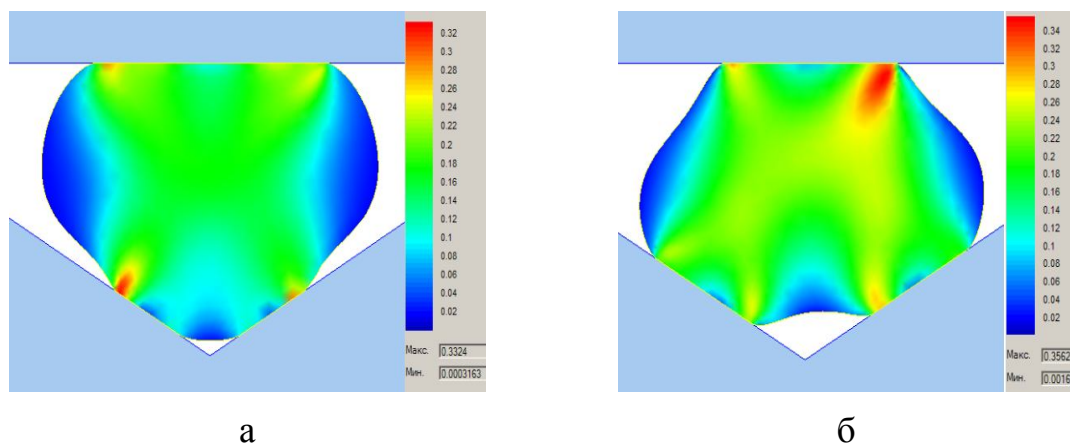


Рис. 2 Распределение деформаций при обжатии трёхлучевой заготовки с различным расположением в комбинированных бойках

Для получения окончательных значений уровня накопленных деформаций в теле поковки необходимо просуммировать логарифмические деформации, полученные при протяжке на трёхлучевую заготовку, и при обкатке этого профиля комбинированными бойками с промежуточной кантовкой на 90° (см. рис. 2 б и 3 б).

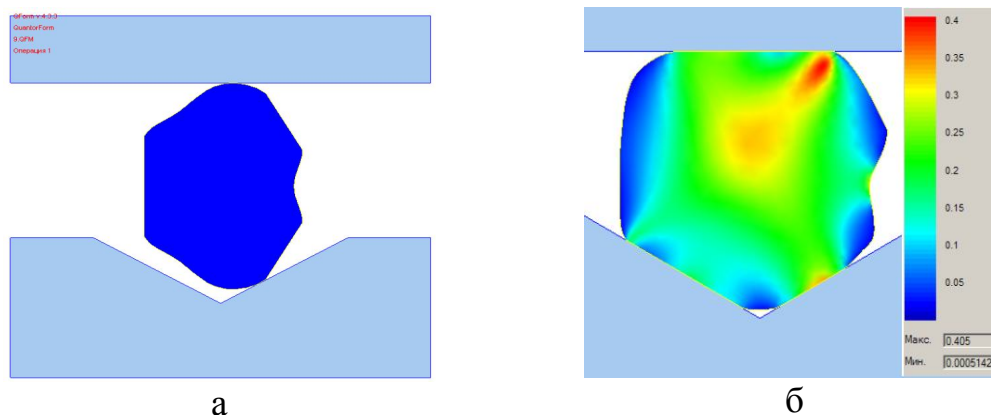


Рис. 3 Распределение деформаций по сечению поковки после кантовки на 90° (а), и обжатии (б).

Значительный интерес представляет схема обжатия четырёхлучевой заготовки на круглое сечение, так как эта схема может конкурировать с протяжкой трёхлучевой (см. рис. 1–3) по равномерности распределения деформаций, что служит критериям получения равнопрочностных свойств в поковке. Особенностью этой схемы является то, что ковку необходимо производить не комбинированными бойками, а вырезными. В этом случае также имеем два варианта расположения четырёхлучевой заготовки в вырезных бойках (см. рис. 4).

Протяжка по схеме через диагональ с кантовкой на 90° позволяет получить за два прохода практически круглое поперечное сечение (см. рис. 5 б), что обеспечит для поковки меньшие припуски на механическую обработку, меньшее число переходов, и в конечном итоге повысит производительность процессаковки валов.

Вторая же схема протяжки вдоль стороны сечения с последующей кантовкой на 90° будет приближать форму заготовки к многогранной (см. рис. 6 б), что потребует дополнительных кантовок и обжатий для получения поковки круглого поперечного сечения.

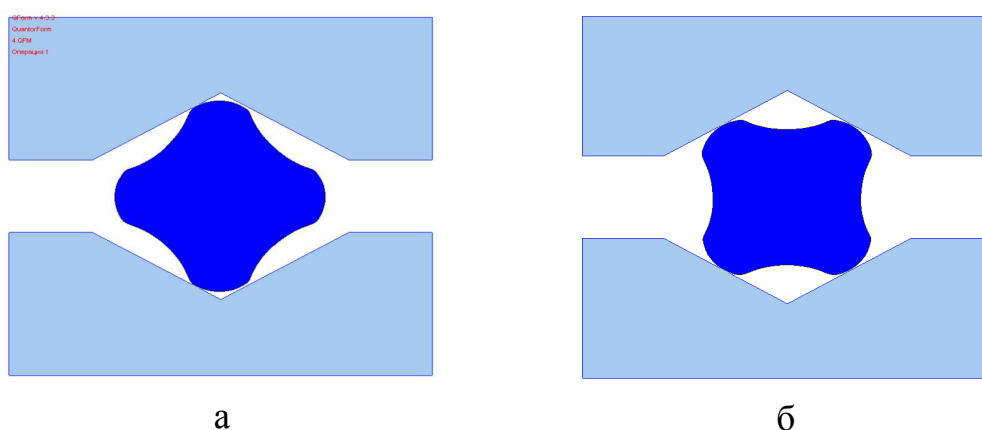


Рис. 4 Варианты расположения заготовки в вырезных бойках после протяжки на четырёхлучевой профиль:

а – вдоль диагонали сечения; б – вдоль стороны сечения.

Уровень и равномерность распределения деформаций для последних двух схем протяжки практически одинаковый (также определяется суммирование интенсивности логарифмических деформаций на всех переходахковки).

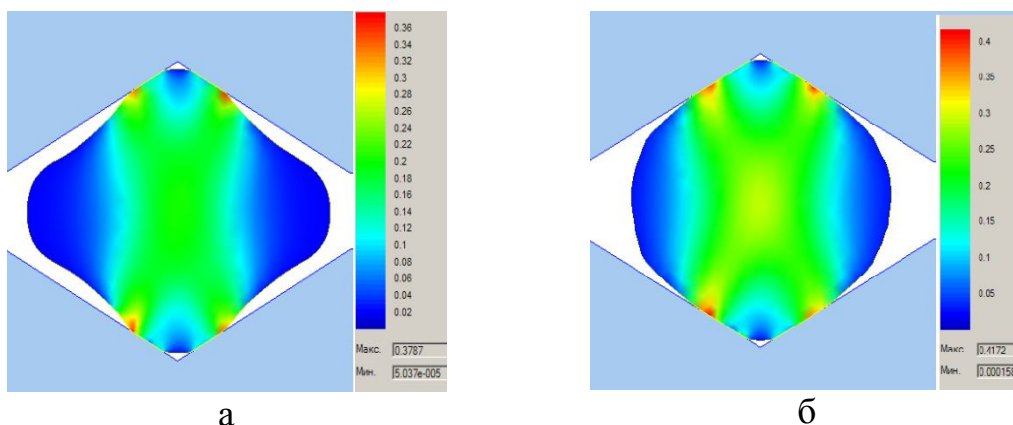


Рис. 5 Распределение деформаций при обжатии вырезными бойками вдоль диагонали (а) и обжатие после кантовки заготовки на 90° (б).

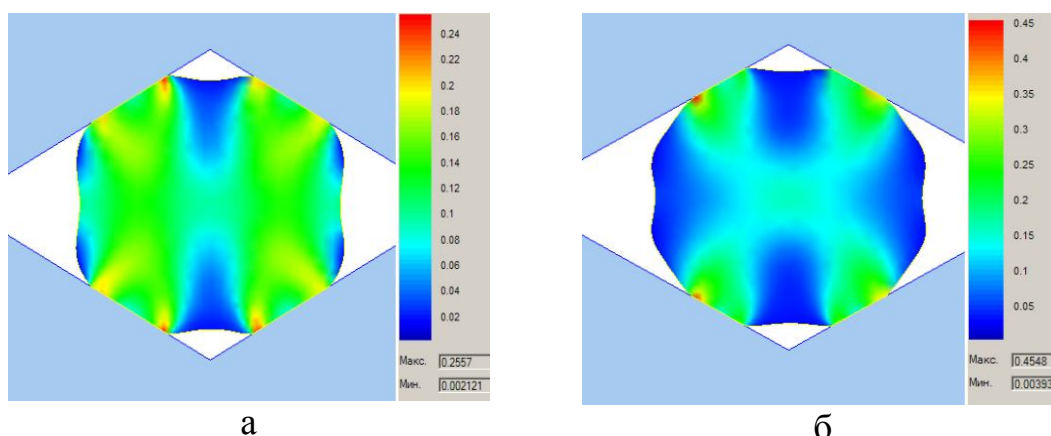


Рис. 6 Распределение деформаций при обжатии вырезными бойками вдоль стороны сечения (а) и обжатие после кантовки заготовки на 90° (б).

Выводы. Предложена технологияковки трехлучевой заготовки комбинированными бойками и четырехлучевой заготовки вырезными бойками, обеспечивающая повышение производительности при изготовлении валов.

Методом конечных элементов установлен характер распределения деформации при ковке трех- и четырехлучевых заготовок.

Внедрение предлагаемой технологии рационально с точки зрения использования автоматизированных ковочных комплексов в кузнечных цехах при изготовлении валов.

Список литературы: 1. Тюрин В.А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов / Тюрин В.А. - Кузнечно-штамповочное производство., 2007. - №11. - с. 15-20. 2. Тюрин В.А. Новая технологияковки валов из трехлучевой заготовки / Тюрин В.А., Балух С.А. - Кузнечно-штамповочное производство., 1979. - №8. - с. 9-10. 3. Балух С.А., Тюрин В.А. Влияние формы слитка и технологии егоковки на качество поковок валков / Балух С.А., Тюрин В.А. - Кузнечно-штамповочное производство., 1985. - №1. - с. 7-10. 4. Соколов Л.Н. Состояние и развитие технологииковки крупных слитков / Соколов Л.Н. Кузнечно-штамповочное производство., 1985. - №8. - с. 21-23. 5. Каргин Б.С. Пристрій для протяжки поковок. Патент на корисну модель № 50412, МПК (2009), B21J5/00 / Каргин Б.С., Каргин С.Б., Титаренко А.В., Тихоненко Р.І., Семенова Н.В. (ІА). Заявка №И200912274., Дата подання заявки 30.11.2009., Дата публікації 10.06.2010., Бюл. №11. 6. Каргин Б.С. Пристрій для ковальської протяжки. Патент на корисну модель № 52289, МПК (2009), B21J5/00 / Каргин С.Б., Каргин Б.С., Тихоненко Р.І. (ІА). Заявка №201000628., Дата подання заявки 22.01.2010., Дата публікації 25.08.2010., Бюл. №16. 7. Каргин С.Б. Инновационные технологииковки крупных поковок / Каргин С.Б. - Весник НТУУ та КПІ. - Машинобудування., м. Київ. - 2010. - №60. - с. 165-168.

Поступила в редколлегию 15.05.2011

М.М. МИКИЙЧУК, канд. техн. наук, доц., НУ «Львівська політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ПРИ КОНТРОЛІ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Здійснено дослідження перспектив застосування кластерного аналізу при вибірковому контролі якості продукції з метою підвищення достовірності ідентифікації її відповідності, що дозволить ефективно управляти ризиками виробника та споживача.
Ключові слова: кластерний аналіз, якість продукції, контроль якості.

Осуществлено исследование перспектив применения кластерного анализа при выборочном контроле качества продукции с целью повышения достоверности идентификации ее соответствия, что позволит эффективно управлять рисками производителя и потребителя.
Ключевые слова: кластерный анализ, качество продукции, контроль качества.

Research of prospects of application of cluster analysis is carried out at the sampling test of quality of products with the purpose of increase of authenticity of authentication of its accordance, that will allow effectively to manage the risks of producer and user.
Keywords: cluster analysis, quality of products, control of quality.

Вступ

Сьогодні кластерний аналіз широко використовується в медицині, психології, державному управлінні, маркетингу, соціології [1]. Ефективним кластерний аналіз може бути у випадках, коли необхідно розподілити велику кількість інформації на придатні для подальшої опрацювання масиви даних [2]. Особливо це актуально для оперативного аналізу потоків інформації про значення показників якості продукції з метою подальшої її ідентифікації та віднесення до відповідного класу [3]. При аналізі рівня якості продукції достовірною її кластеризація може стати вагомим шляхом для зменшення наслідків від виробничих ризиків, а також ефективним інструментом їх запобігання. Проблема класифікації об'єктів за певним набором кількісних чи якісних ознак була і залишається актуальною з огляду на потребу їх автоматизованого групування та ідентифікації.

Сучасний стан проблеми

Кластерний аналіз — це багатовимірна статистична процедура, що виконує збір даних, що містять інформацію про вибірку об'єктів, з наступним упорядкуванням об'єктів у порівняно однорідні групи.

Всі методи кластеризації поділяють на дві групи: ієрархічні та неієрархічні. Неієрархічні методи кластеризації використовують ітеративні процедури для виконання яких потрібно означити такі параметри як початкова точка, правило формування нових кластерів, правило зупинки. Неієрархічні методи можуть працювати з потужними базами даних, вони є складними, тому що потрібно до початку кластеризації визначити приблизну кількість кластерів та кількість ітерацій. На відміну від попередніх, ієрархічні методи не тільки враховують особливості реальних об'єктів дослідження, а й дозволяють знайти найкращі варіанти утворення кластерів, орієнтуючись на задані критерії оптимізації без

побудови повного дерева рішень, вони є наочними та простими, при їх допомозі можливо отримати детальну структурування даних [5].

Сучасні технологічні процеси (ТП) характеризуються великою кількістю контрольованих технологічних параметрів та показників якості готової продукції [4]. Тому для управління ТП широко використовують методи математичної статистики. Однак необхідність підвищення рівня та оперативності управління сучасними ТП ставить вимогу переходу від статистичного оцінювання одномірних залежностей – вплив окремого технологічного параметра на показник якості готової продукції, до оцінювання, багатомірного впливу сукупності технологічних параметрів на сукупність показників якості. Традиційно проблему оцінювання якості виробів, які характеризуються значною кількістю показників якості вирішують шляхом визначення узагальненого показника якості. Основною вимогою до узагальненого показника якості є максимальна повнота відображення всіх характерних властивостей продукції, що в багатьох випадках або неможливо або виникають недопустимі похибки оцінювання.

Враховуючи ефективність застосування кластерного методів для аналізу багатовимірних статистичних даних доцільно використовувати його при контролі якості продукції на стадії виготовлення. Тому використання кластерного методу для аналізу даних про значення показників якості продукції дозволить підвищити достовірність ідентифікації придатності продукції, а отже, зменшити ризики виробництва.

Постановка завдання

Розглянути перспективи застосування кластерного аналізу при здійсненні вибіркового контролю якості продукції з метою підвищення достовірності контролю.

Перспективи застосування кластерного аналізу для контролю якості продукції

Задачу кластеризації при контролі якості продукції можна визначити в такий спосіб. Нехай множина $I = \{I_1, \dots, I_j, \dots, I_n\}$ визначає n об'єктів готової продукції які відносяться до певної локальної сукупності π_I . Відома, також множина показників якості $Y = \{Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_p\}$, які характеризують кожен об'єкт множини I та контролюються при здійсненні вихідного контролю якості. Результат вимірювання i -го параметра під час виготовлення I_j об'єкту позначатимемо x_{ij} , а вектор $X_i = \{x_{ij}\}$ буде відповідати кожному ряду вимірювань Y_i показника якості для всіх контрольованих об'єктів. Таким чином, для множини об'єктів I матимемо множину векторів вимірювань $X = \{X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n\}$, які описують умови виготовлення множини продукції I .

Завдання кластерного аналізу при оцінюванні якості продукції полягає в тому, щоб на основі даних, які містяться в X , розділити множину об'єктів I на m кластерів $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_m$ так, щоб кожен об'єкт I_j належав лише одному з кластерів. Важливо при цьому забезпечити умову, що об'єкти, які належать одному кластеру є максимально подібні, а об'єкти, які належать різним кластерам є мінімально подібні, тобто відмінні. Поділ вибірки на групи схожих об'єктів (кластери) дозволяє спростити подальшу обробку даних і ухвалення рішень, а також застосовувати до кожного кластера свій метод аналізу.

Очевидно, що для вирішення задачі кластеризації необхідно визначити ознаки подібності та відмінності.

У літературі описується багато різних методів кластеризації, які базуються на використанні матриць подібності, оцінюванні функцій щільності статистичного розподілу, евристичних алгоритмах перебору, ідеях математичного програмування і ін. Значна частина цих алгоритмів, при всій їх несхожості, методично засновані на одній тезі -гіпотезі компактності, тобто визначенні подібності об'єктів за мірою близькості оцінюваних ознак. Ознака подібності виникає коли відстань між результатами вимірювань показників якості j -го та n -го об'єктів є достатньо малою, і навпаки, відмінність між j -м та n -м об'єктами виникає при достатньо великій різниці між вказаними вище результатами вимірювань [6].

Евклідова метрика, в порівнянні з іншими методами оцінювання міри подібності, є достатньо простою та добре інтегрується з існуючими методиками контролю якості. В евклідовій метриці міру подібності $d(X_j, X_n)$ визначають як відстань між X_j та X_n , що еквівалентно відстані між I_j та I_n . Тоді можна записати міру подібності для евклідового простору:

$$d(X_j, X_n) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_{ij} - x_{in})^2} \quad (1)$$

Для сукупності об'єктів контролю $I = \{I_1, \dots, I_j, \dots, I_n\}$, кожен з яких характеризується множиною показників якості $\{Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_p\}$, результати n векторів вимірювань $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ можна представити у вигляді матриці результатів $\{x_{ij}\}$ розміром $p \times n$:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{p1} & x_{p2} & \dots & x_{pn} \end{pmatrix} = (X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2)$$

Відстань між парами векторів $d(X_j, X_n)$, з врахуванням (1), можна представити у вигляді симетричної матриці відстаней:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & 0 & \dots & d_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ d_{p1} & d_{p2} & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Аналіз методів числового визначення коефіцієнтів подібності проведений в [7] показав, що їх оцінювання можливо при забезпеченні умови нормалізації значень X_j та X_n . Така умова забезпечується при організації контролю якості продукції за альтернативною ознакою. Зокрема в статистиці широко використовується лінійна міра подібності r_{jn} , що називається коефіцієнтом кореляції та знаходиться з виразу:

$$r_{jn} = \frac{\sum_{i=1}^p x_{ij} \cdot x_{in}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p x_{ij}^2 \cdot \sum_{i=1}^p x_{in}^2}} \quad (5)$$

Таким чином, використовуючи приведені вище залежності можна визначати ступінь близькості результатів вимірювань показників якості окремих зразків готової продукції.

Наступним кроком кластерного оцінювання якості продукції є означення властивостей кластерів та встановлення відповідності окремих зразків продукції цим кластерам. Очевидно, що властивості кластерів визначаються переліком оцінюваних показників якості продукції $\{Y_1, \dots, Y_b, \dots, Y_p\}$ та допустимими межами їх зміни. Сьогодні інформація про показники якості конкретної продукції та допустимі межі їх зміни зосереджена в технічних умовах, а отже труднощів з визначенням властивостей кластерів не повинно виникати.

Виконання основного завдання кластерного аналізу - розподіл множини значень показників якості партії продукції до певного кластера можна здійснювати за обраним критерієм оптимальності (цільовою функцією). Одним з варіантів є оцінка області допусків параметрів у вигляді еліпсоїда. Такі оцінки особливо ефективні у випадку «втягнутості» області параметрів, або у випадках коли задана область розсіювання відхилень параметрів від номінальних [6, 8].

Оскільки при здійсненні вибіркового контролю за альтернативною ознакою рівень якості продукції визначається за відповідністю вимірюваних значень $X = \{X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n\}$ оцінюваних показників якості $\{Y_1, \dots, Y_b, \dots, Y_p\}$ встановленим допуском, то природньо прийняти за основні кластери зону значень окремих показників якості Y_i за яких продукція вважається придатною до використання.

Для означення властивостей кластера потрібно знайти його центр за результатами вимірювань значень i -го параметра для всієї сукупності об'єктів контролю:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (6)$$

Також необхідно визначити допустиму область розповсюдження кластера, наприклад через середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{X}_i)^2} \quad (7)$$

Таким чином, правило належності j -го об'єкта контролю за окремим i – м показником якості буде визначатися умовою:

$$\sigma_{ij} \leq \sigma_i \quad (8)$$

Провівши процедуру кластеризації всіх об'єктів контролю за всіма показниками якості можна всі об'єкти контролю розділити на три групи:

- придатні – всі показники якості увійшли в допустимі кластери;
- непридатні – всі показники якості опинилися за межами допустимих кластерів;
- сумнівні – частина показників якості увійшла в допустимі кластери, а частина опинилася за межами допустимих кластерів.

Достовірність класифікації рівнів якості продукції залежить від розміщення еліпсоїдів розсіювання показників якості, що належать відповідному кластеру. При ідентифікації продукції з метою віднесення її до певного рівня якості доцільно використовувати існуюче нормативно-методичне забезпечення

контролю якості, в першу чергу методи контролю за альтернативною ознакою. Ці методи використовуються в системах контролю якості завдяки широкому впровадженню статистичного вибіркового контролю і базуються на побудові операційної характеристики контролю за допомогою якої погоджуються ризики виробника та споживача. Існує ряд нормативних документів, які регламентують проведення контролю якості за альтернативною ознакою. Тому важливим моментом впровадження кластерного аналізу є інтегрування його елементів в існуючі методики контролю за альтернативною ознакою.

Традиційно при вибіркому контролі партію виробів розділяють на дві групи: придатні та непридатні, за допомогою двох чисел: q_0 та q_m . Причому q_0 визначає гранично допустиму долю непридатної продукції, а q_m встановлює межу ідентифікації партії продукції як непридатної. Продукція вважається придатною при $q < q_0$ та непридатною якщо $q > q_m$. Задачу вибору значень q_0 та q_m вирішують шляхом погодження з показниками ризику виробника - α та ризику споживача - β . Погодження відбувається шляхом побудови плану контролю до якого ставляться такі вимоги:

$$\begin{aligned} P(q) &\geq 1 - \alpha \text{ при } q \leq q_0 \\ P(q) &\leq \beta \text{ при } q \geq q_m \end{aligned} \quad (9)$$

При цьому виникає зона невизначеності при $q_0 < q < q_m$ коли виникають сумніви в придатності продукції. В більшості випадків таку продукцію визнають придатною, що збільшує ризик споживача. У випадку необхідності підвищення достовірності ідентифікації продукції здійснюють повторні випробування, що зумовлює зростання затрат виробництва.

Ефективним шляхом уникнення вказаних затрат виробництва при одночасному підвищенні достовірності ідентифікації продукції є використання кластерного аналізу результатів контролю продукції. Інтегрування кластерного методу ідентифікації продукції, якість якої піддається сумніву, можна шляхом побудови дерева рішень з використання операційної характеристики контролю. Графічну інтерпретацію інтегрованого методу оцінювання якості сумнівної продукції можна

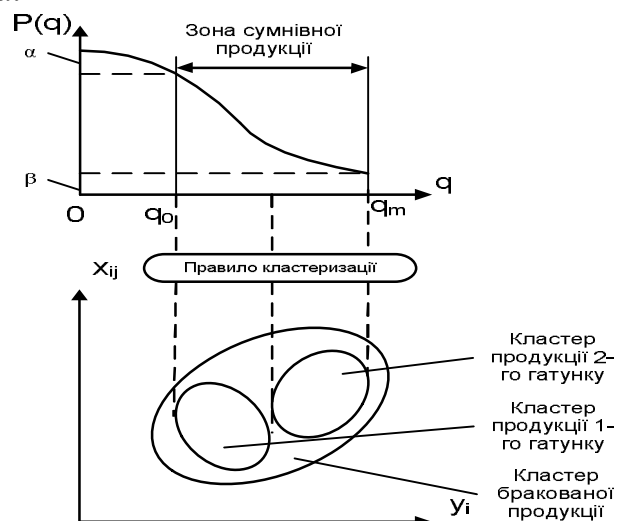


Рис.1. Графічна інтерпретація інтегрованого методу оцінювання якості сумнівної продукції.

представити в наступному виді (див. рис. 1).

Важливим завданням застосування кластерного аналізу при контролі якості є розроблення вирішального правила яке визначатиме умови ідентифікації продукції.

Висновки

Таким чином, проведений аналіз перспектив застосування кластерного аналізу для контролю якості продукції показує доцільність його інтегрування в

існуючі методи вибіркового контролю. Застосування інтегрованого методу при контролі якості продукції дозволить зменшити затрати на проведення контролю при одночасному підвищенні його достовірності.

Список літератури: 1. *Савчук Т.О.* Порівняльний аналіз використання методів кластеризації для ідентифікації надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті / Т.О. Савчук, С.І. Петришин // Наукові праці ДонНТУ, Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка". - 2010. - Випуск 12(165). - С.135-140. 2. Кластерный анализ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stcluan.html#statistical>. 3. *Дунаев Б.Б.* Точность измерений при контроле качества. [Текст]: – К.: Техніка. - 1981. - 152 с. 4. *Микийчук М.М.* Параметрична модель для оцінювання якості технологічних процесів / М.М. Микийчук, Т.З. Бубела, Т.Г. Бойко // Автоматика, вимірювання та керування. Вісник НУ "Львівська політехніка". - 2007. - №574. - С. 89-93. 5. *Савчук Т.О.* Використання ієрархічних методів кластеризації для аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті / Савчук Т.О., Петришин С.І. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2009. - № 1. - С.193-198. 6. *Дюран Б.* Кластерный анализ [Текст]: / Б. Дюран , П. Одел // Пер. с англ. – М.: Статистика. - 1977. – 128 с. 7. *Айвазян С.А.* Классификация многомерных наблюдений [Текст]: / С.А. Айвазян, З.И. Бежаева, О.В. Староверов.// - М.: «Статистика». – 1974. – 238 с. 8. *Козак О.Л.* Метод ітераційного формування допускової еліпсоїдної оцінки в задачах параметричної ідентифікації інтервальних моделей / О.Л. Козак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. - № 2 – с. 254-261.

Поступила в редколлегию 12.05.2011

УДК 004.415.2 (045)

О.А. АВРАМЕНКО, канд. техн. наук, доц., НАУ;Київ

І.С. ЯСЕНОВА, канд. техн. наук, доц., НАУ Київ

ПЕРЕТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ ДОКУМЕНТІВ У РЕДОКУМЕНТУВАННІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Розглядається реалізація редокументування успадкованого програмного забезпечення, яка ґрунтується на моделі-керованому підході. Описані моделі документа на різних рівнях абстракції із врахуванням вимог технологій розробки. Запропоновано схему послідовного перетворення моделей.

Ключові слова: редокументування, моделі-керований підхід, модель документа

Рассматривается реализация редокументирования наследуемого программного обеспечения, которая основана на модели-управляемом подходе. Описаны модели документа на разных уровнях абстракции с учетом требований технологий разработки. Предложена схема последовательного преобразования моделей.

Ключевые слова: редокументирование, модели-управляемый подход, модель документа

The article describes the realization of legacy software redocumentation on the basis of model-driven approach. Software document models located at different abstract levels are proposed. They meet the requirements to software development technology. Transformation of consistent documents models is developed.

Keywords: redocumentation, model-driven approach, model of document

Вступ

Реінженерія є поширеним методом переробки успадкованого програмного забезпечення (ПЗ), який дозволяє створювати нове ПЗ із використанням готових елементів та проектних рішень успадкованого [1-2]. У процесі реінженерії застосовується документація ПЗ [3], але на практиці успадковане ПЗ, найчастіше, не має документації або наявна документація є неповною і застарілою. Тому для відновлення документації застосовується редокументування, яке використовує інформацію, отриману із успадкованого ПЗ шляхом зворотної інженерії.

Постановка задачі

Документація, відновлена при редокументуванні, використовується у подальшому процесі розробки ПЗ, тому повинна відповідати вимогам технології розробки, призначеній у програмному проекті [4]. Технології розробки містять, у тому числі, вимоги до складу документації та змісту документів ПЗ. Документ ПЗ можна подавати у вигляді моделі, яка формалізовано описує документ, враховуючи загальні вимоги до нього та вимоги, суттєві з точки зору редокументування. Більш того, узагальнення моделей документів технологій дозволяє побудувати їх ієрархію, на верхньому рівні якої розташовується узагальнена модель документу ПЗ. Така ієрархія надає можливість використовувати у редокументуванні поширений у програмній інженерії модельно-керований підхід (Model-Driven Development – MDD) [5], що дозволяє

зменшити витрати на створення документації при систематичному застосуванні реінженерії. У статті пропонується схема перетворення моделей документів для створення документів успадкованого ПЗ в процесі реінженерії.

Моделі документів в аспекті редокументування

За результатами аналізу загальної концепції документу ПЗ та його складових, а також виходячи з властивостей документації технологій розроблення [6-8], для моделі-керованого редокументування пропонуємо використовувати сукупність моделей документу ПЗ, розміщених на різних рівнях, а саме:

- модель документу ПЗ M_G на рівні загальної концепції документу ПЗ, яка описує загальні аспекти змісту і структури документу ПЗ з урахуванням редокументування незалежно від вимог технологій розробки;
- мета-модель документу технологій розробки M_T на рівні вимог технологій розроблення, яка інтерпретує модель M_G шляхом деталізації вмісту і структури документу ПЗ з урахуванням загальних вимог технологій розробки R ;
- модель документу технології розробки M_D на рівні вимог до певного документу обраної технології, яка є екземпляром мета-моделі документу технологій розробки M_T . Ця модель дозволяє описувати вміст, структуру і форму представлення конкретного документу технології як метадані (метаописи), які обумовлюють створення екземплярів документів при редокументуванні, у тому числі, за допомогою засобів автоматизації.

Модель документу програмного забезпечення

У галузевих стандартах документ ПЗ визначається як одиниця інформації, що унікально ідентифікується, розроблена для певного кола користувачів з певною метою і записана на будь-якому носії інформації [9].

Модель документу ПЗ M_G можна зобразити трійкою $M_G = \langle S, C, P \rangle$, де S – структура документа, C – вміст документа (інформаційне наповнення), P – форма подання документу (зовнішній вигляд).

Структура документу S – це упорядкована множина $S = \{s_i | i = 1..M\}$, де s_i – структурні елементи документації (СЕД), які можна розглядати як об'єднання $S = S_b \cup S_{id} \cup S_g$ трьох підмножин, які не перетинаються:

- основних (S_b), які визначаються інформаційним вмістом документу (наприклад, розділи, підрозділи та пункти документу);
- ідентифікаційних (S_{id}), які призначені для ідентифікації документу (наприклад, назва та номер версії документу);
- загальних (S_g), які необхідні для пошуку та навігації у документі (наприклад, глосарій та зміст документу).

Множина S утворює дерево G , яке складається з вузлів (СЕД) та ребер, які відображають відношення ієрархічної упорядкованості між СЕД:

$$G = \langle S, E \rangle,$$

де E – множина лінійно упорядкованих ребер дерева.

Основні та загальні СЕД можуть містити вкладені СЕД, порядок розміщення яких задається списком ребер. Наприклад, для кореневого СЕД дерева s_d список ребер має вигляд

$$((s_d, s_1), (s_d, s_2), \dots, (s_d, s_i), \dots, (s_d, s_j), (s_d, s_n)),$$

де $s_1 - s_n$ – СЕД першого (верхнього) рівня (зміст, розділи, додатки, предметний вказівник і т. ін.).

Вміст документу C представлено множиною $C = \{c_j \mid j = 1..L\}$, де c_j – інформаційний елемент документу (ІЕД) – логічно завершений інкапсульований елемент, який містить інформацію про ПЗ, наприклад, діаграма класів, опис інтерфейсів. Між елементами множин C і S визначена відповідність O : якщо задано певний ІЕД $c \in C$, то визначено й СЕД $s \in S$. O визначено для будь-якого елемента з множини C та є відображенням $O: C \rightarrow S$. ІЕД формується шляхом включення до нього подання, яке є інформацією про частини ПЗ або про ПЗ у цілому. При редокументуванні подання береться з успадкованого (існуючого) ПЗ, використовуючи, у тому числі, засобів зворотної інженерії. Прикладами подань можуть бути перелік вимог, діаграми варіантів використання, компонентів та класів, опис класу, зображення користувацького інтерфейсу, схема бази даних (БД) і т. ін.

Подання v має значення z (текст, рисунок, таблиця, діаграма, анімація або звук) і характеризується властивостями $p_1, \dots, p_n$ (тип, нотація, фізичне розташування значення подання):

$$v = \langle z, (p_1, \dots, p_n) \rangle.$$

Під час редокументування подання v_i з множини V можуть відповідати одному або декільком елементам c_j множини C . Відповідність множин V і C документу можна представити у вигляді матриці $A[K, L]$, де K – кількість елементів множини V , L – кількість елементів множини C , $A = \{a_{ij} \mid a_{ij} = \{0, 1\}\}$, 1 – означає, що v_i відповідає c_j , 0 – в протилежному випадку}. Крім подання, ІЕД може включати пояснення ex , яке має тільки текстове значення: $z(ex)$, наприклад, примітка, підписи таблиць і рисунків. Пояснення документу утворюють множину $EX = \{ex_i \mid i = 1, \dots, M\}$.

Таким чином, для $\forall c_k \in C$ правильне співвідношення:

$$c_k : \Leftrightarrow \bigcup_{i=1}^L v_i^k \vee \bigcup_{j=0}^M ex_j^k,$$

де $c_k \in C$, $v_i^k \in V$ та відповідає k -му елементу множини C , $ex_j^k \in EX$ та відповідає k -му елементу множини C .

Форма подання документу визначається правилами зовнішнього оформлення, які відповідають стандартизованим або корпоративним стилям оформлення та залежать від формату носія документу.

Мета-модель документу технологій розробки програмного забезпечення

Мета-модель документу технологій розробки ПЗ M_T створюється на основі розробленої моделі документу ПЗ M_G і вимог, спільних для технологій розробки

$R = \bigcap_{i=1}^N R_i$, де R_i – вимоги i -ої технології. Мета-модель $M_T = \langle C(R^c), S(R^s), P(R^p) \rangle$ під час її перетворення параметризується за трьома складовими документу: вмістом, структурою, формою представлення, на основі відповідних вимог R^c , R^s , R^p . Для вмісту параметром виступає нотація представлень $p_{notation}$. Для структури параметром виступає частина графа S , яка визначена для множин ідентифікаційних S_{id} і загальних S_g СЕД, $S'_l = \langle S_{id} \cup S_g, E'_l \rangle$, де $E'_l \subset E$. Для форми подання параметром виступає множина правил форматування F , які встановлюють єдині правила оформлення для документів технологій. Таким чином, параметризована мета-модель має вид $M_T(p_{notation}, S'_l, F)$.

Спираючись на спільні вимоги технологій розробки, до моделі M_T додаються властивості $prop = \langle p_{tech}, p_{phase}, p_{name} \rangle$, пов'язані з процесом розробки: назва технології p_{tech} , до складу якої входить документ, назва фази p_{phase} , на якій він створюється, і назва документу p_{name} .

Модель документу технології розробки програмного забезпечення

Модель документу технології M_D побудована на основі моделі M_T і вимог i -ої R_i технології розробки до документів. Модель $M_D = \langle C(R_i^c), S(R_i^s), P \rangle$ під час перетворення параметризується за двома складовими: вмістом і структурою – на основі вимог R_i^c і R_i^s . Для вмісту параметрами виступають множина типів подань p_{type} і пояснень EX . Для структури параметрами виступають частина графа S , яка визначена для основних СЕД S_b : $S'_2 = \langle S_b, E'_2 \rangle$ (де $E'_2 \subset E$), матриця $A[K, L]$ відповідності C та V і відображення $O: C \rightarrow S$.

Таким чином, із врахуванням параметризації метамоделі M_T модель M_D має вигляд $M_D(p_{notation}, p_{type}, A, EX, S, O, F)$.

Редокументування як перетворення моделей

Редокументування відповідно до моделі-керованого підходу розглядається як процес створення множини документів D_{RD} успадкованого ПЗ через перетворення моделей M документів з формуванням їх вмісту на основі множини подань V успадкованого ПЗ. Перетворення моделей керується двома параметрами – обраною технологією розробки T і фазою Ph . Подання розташовуються у документах на основі матриці $A[K, L]$, яка відображає відповідність множин подань V і вмісту C , і відповідності O між елементами множин вмісту C і структури S .

Реалізація редокументування, яка ґрунтується на моделі-керованому підході, полягає у виконанні таких послідовних перетворень (рис.1):

- моделі документу M_G в мета-модель M_T документу технологій розробки ПЗ шляхом конкретизації з урахуванням вимог, загальних для всіх технологій розроблення R ;
- мета-моделі M_T у модель документів M_D технології шляхом конкретизації з урахуванням вимог обраної технології розробки R_i ;

-моделі M_D у метаописи m_D документів обраної технології розробки шляхом підстановки у параметри M_D фактичних значень, які визначаються вимогами R_{ij} до j -го документу.

Останній крок реалізації редокументування – створення документів успадкованого ПЗ D_{RD} як

екземплярів метаописів m_D .

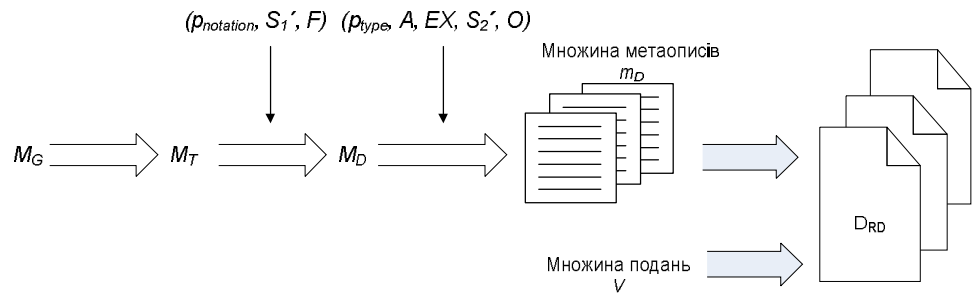


Рис.1. Схема перетворення моделей під час відновлення документів успадкованого ПЗ

Перетворення моделей документів

Перетворення моделі документу M_G в мета-модель M_T документу технологій розробки ПЗ здійснюється шляхом відображення елементів моделі M_G в елементи моделі M_T на мові UML та конкретизації моделі M_G з урахуванням загальних вимог технологій розробки R . Якщо загальні вимоги технологій до документів не змінюються, то мета-модель M_T може бути побудована один раз та застосовуватися кожного разу при визначенні моделі M_D конкретної технології.

Відображення дозволяє отримати M_G у вигляді діаграми класів на мові UML (рис.1), використовуючи правила відображення елементів (табл.1). Структура документу в моделі M_G , представлена у вигляді дерева, відображається в ієрархію класів із суперкласом «СЕД» (рис.2).

Під час конкретизації моделі M_G на мові UML до неї додаються елементи, які описують параметри моделі M_T (див. рис.1). Параметр

$p_{notation}$ описується

перелічувальним

типом «нотація подань» для переліку можливих значень параметру.

Для опису параметра S'_i до моделі впроваджуються класи «Назва проекту», «Версія», «Дата випуску», «Автор», щоб задати множину S_{id} ідентифікаційних СЕД технологій розробки, і обмеження для опису множин ребер $E'_i : \{x\}$, де x – порядковий номер ребра для кореневого вузлу «Документ», та $\{x.x\}$, де $x.x$ – порядковий номер ребра для абстрактного вузла «Ідентифікаційний СЕД» і вузла

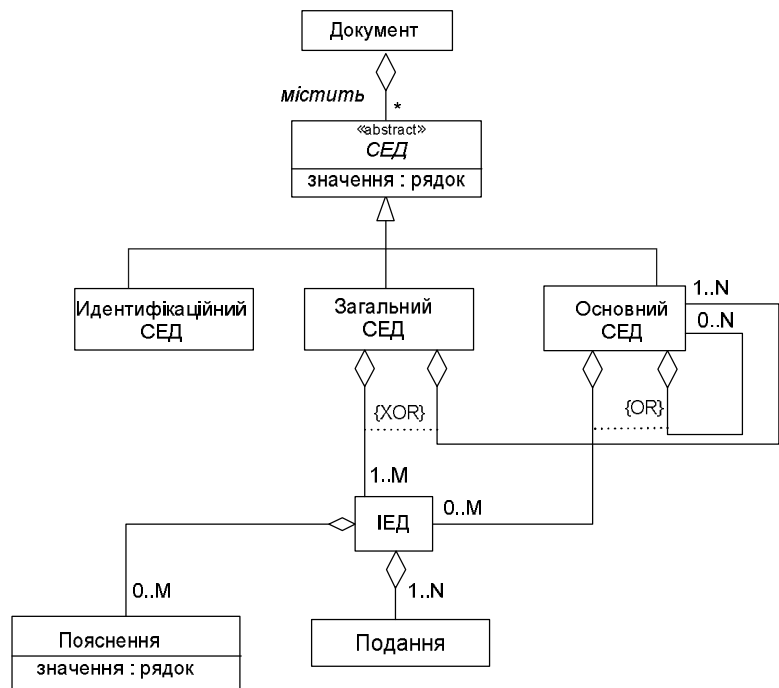
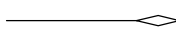
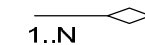
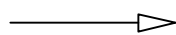


Рис.2. Модель документу ПЗ M_G на мові UML

«Загальний СЕД». Параметр F описується пакетом «Стилі форматування (F)», який включає класи для елементів оформлення документів.

Таблиця 1. Правила і приклади відображення елементів моделі M_G в елементи метамоделі M_T

Правило відображення		Приклад відображення	
Елемент моделі M_G	Елемент мета-моделі M_T	Елемент моделі M_G	Елемент мета-моделі M_T
Елемент документу (ІЕД, СЕД, представлення, пояснення)	Клас	S_b	Основний СЕД
Значення елемента документа (ІЕД, СЕД, пояснення)	Атрибут класу типу «рядок»	$z(ex)$	значення : рядок
Відповідність елементів моделі	Відношення агрегації («містить»)	$\rightarrow$	
Кількість елементів	Кратність асоціації	$\bigcup_{i=1}^N$	
Об'єднання неперетинних підмножин	Відношення узагальнення («це-є»)	$\cup$	
Операції «АБО», «АБО, що виключає»	Обмеження (для відношення агрегації)	$\vee$	

Отже, мета-модель документу технологій розробки ПЗ M_T , отримана внаслідок відображення та конкретизації моделі документу M_G , представлена на рис.3. Перетворення мета-моделі M_T в модель документу M_D технології здійснюється шляхом

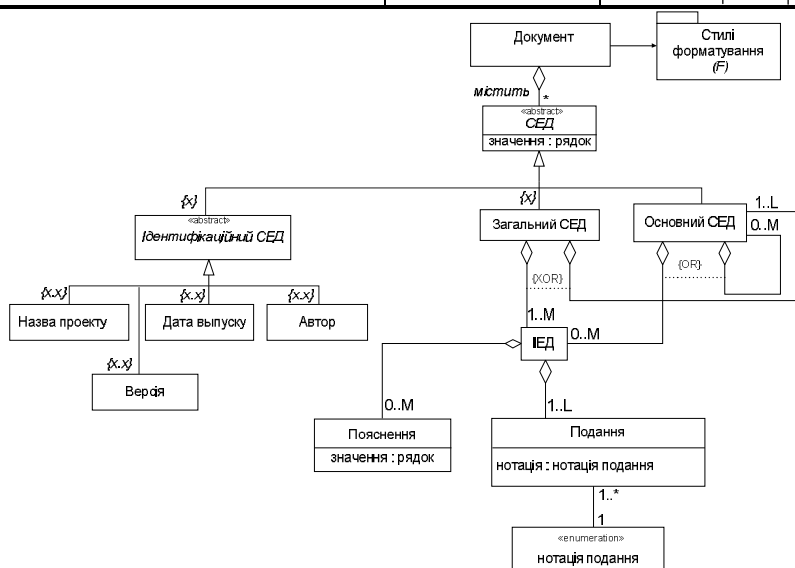


Рис.3. Мета-модель документу технологій розробки ПЗ M_T

визначення значень S_g , F , діапазону значень параметру $p_{notation}$ і діапазонів значень властивостей документу p_{tech} , p_{phase} , p_{name} .

Отримана модель описує узагальнений документ конкретної технології розробки. Розглянемо перетворення моделі документів M_D технології розробки RUP. Значення параметру s_g визначається множиною службових СЕД всіх

документів технології. У технології RUP до елементів цієї множини відносяться «Зміст» і «Вступ». При побудові моделі M_D до неї додаються класи «Зміст» і «Вступ», які є підкласами абстрактного класу «Загальний СЕД». Діапазон значень параметру $p_{notation}$ встановлюється значенням перелічуваного типу «Нотація представлення» (пакет «Властивості представлень ($p_{notation}$)»), який визначається вимогами технології RUP: UML, текст, таблиця.

Діапазони значень властивостей

документу p_{tech} ,

p_{phase} p_{name}

встановлюються

значеннями

перелічуваних типів

«Назва технології»,

«Назва фази» і

«Назва документу»

(пакет «Властивості документу ($prop$)»),

які визначаються

вимогами технології

RUP (рис.4).

З огляду на те, що перетворення метамодели M_T в модель M_D документа

технології здійснюється з урахуванням вимог певної технології розробки, то за умови незмінності вимог технології до документів, модель M_D може бути побудована лише один раз і використовуватися кожного разу під час створення метаопису m_D конкретного документа технології.

Перетворення моделі M_D в метаопис m_D документів обраної технології розробки R_{ij} здійснюється шляхом підставлення фактичних значень параметрів у модель M_D , які визначаються на основі вимог R_{ij} технології до певного свого документу. Метаопис m_D документа являє собою екземпляр моделі M_D . Засобом побудови метаописів є спеціально розроблена шляхом розширення мови XML мова Redocumentation Document Description Language (RDDL) [10]. Мова RDDL містить засоби для опису СЕД, ІЕД, представлень, пояснень та властивостей документу.

Для документів однієї технології розробки перетворення моделей виконуються одноразово і документи створюються на основі готових метаописів, використовуючи для цього процеси трансляції та збирання, які можуть бути автоматизовані. Для автоматизації пропонується архітектура засобів [11], які відносяться до CARSE та виконують наступні функції: підготовку метаописів

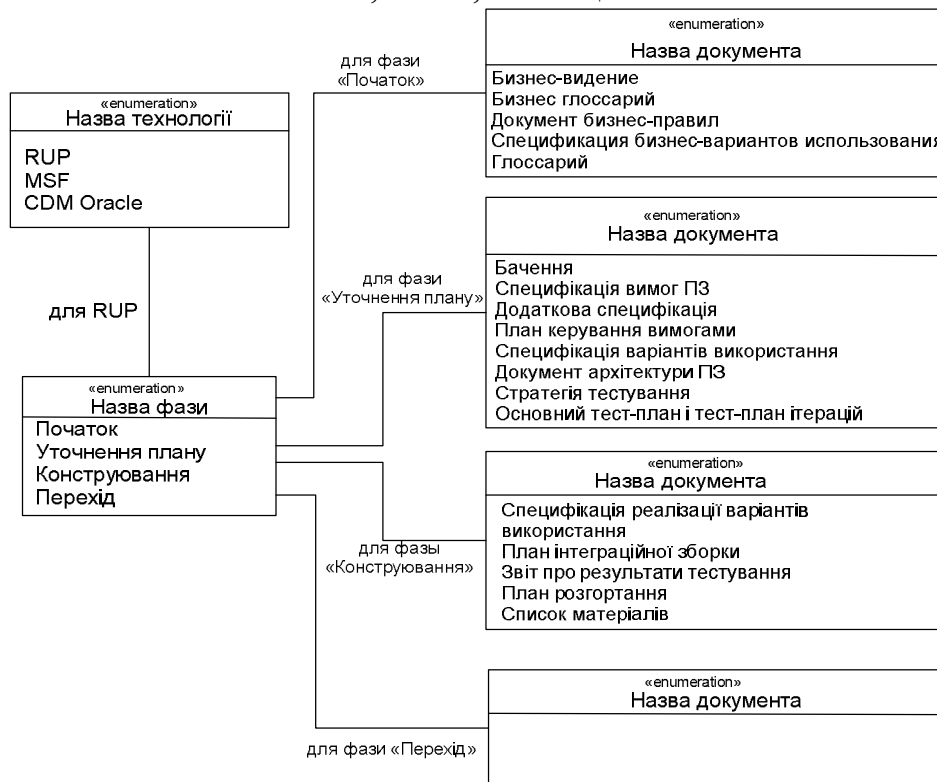


Рис.4. Значення перелічувальних типів «Назва технології», «Назва фази» і «Назва документа» для технології RUP

документів для редокументування m_D , підготовку представлень V успадкованого ПЗ та створення документів D_{RD} .

Висновки

Застосування модельно-керованого підходу при редокументуванні дозволяє створювати документи ПЗ шляхом послідовного перетворення моделей від абстрактного рівня до реалізації, що надає можливість забезпечувати вимоги технологій розробки до документації та спрощує редокументування за рахунок систематичного повторного використання моделей. Запропоновані схема та правила перетворення моделей документів дозволяють формалізувати процес створення документів та параметризувати його вимогами обраної технології розробки.

Список літератури: 1. *Chikofsky E. J., Cross J. H. Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy* // IEEE Software. – 1990. – January. – P.13-17 2. *Сидоров Н.А.* Восстановление, повторное использование и переработка программного обеспечения. I. // УСиМ. – 1998. – № 3. – С. 74-83. 3. *Сидоров Н.А., Хоменко В.А., Авраменко Е.А.* Реинженерия проектов программного обеспечения. // Проблемы програмування. – 2006. – № 2,3. — С. 31–38. 4. *Сидоров Н.А., Авраменко Е.А.* Метод и средства редокументирования наследуемого программного обеспечения // Проблемы програмування. – 2008. – № 2,3. – С. 229-238 5. *Mellor S.J., Clark A.N., Futagami T.* Model-Driven Development // IEEE Software. – 2003. – Vol.20, No.5. – P.14-18. 6. *Якобсон А., Буч Г., Рамбо Дж.* Унифицированный процесс разработки программного обеспечения : Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2002. – 496 с. 7. *Microsoft Solutions Framework.* Модель процессов MSF. Версия. 3.1. – Корпорация Майкрософт (Microsoft Corp.), 2002. – 44 с. 8. *Oracle Method®.* CDM Classic Method Handbook. Release 2.6.0. – Oracle corp., 2000. – 248 p. 9. *ДСТУ 4302:2004 (ISO/IEC 6592:2000(MOD))* Інформаційні технології. Настанови щодо документування комп'ютерних програм. – К: Держпоживстандарт, 2005. – 30с. 10. *Авраменко Е.А.* Средство редокументирования наследуемого программного обеспечения // Вісник Національного технічного університету України „КПІ”. Серія „Інформатика, управління та обчислювальна техніка” : зб. наук. праць. – Київ : „ВЕК+”, 2007. – № 47. – С. 100–107. 11. *Авраменко О.А.* Архітектура засобів редокументування успадкованого програмного забезпечення. – Вісник НАУ. – 2007. – № 3-4 (33). – С. 58-62

Поступила в редколлегию 19.03.2011

УДК 332.339

М. О. БІЛАН, асп., Черкаський національний університет ім.
Б.Хмельницького

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВПРОВАДЖЕННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У ГОТЕЛЬНУ ГОСПОДАРСТВИ

Запропонована модель впровадження та використання сервісно-орієнтованої системи управління бізнес-процесами підприємств готельного господарства, яка дозволяє реалізувати автоматизовані дії та надає можливість систематично та ефективно використовувати існуючі ресурси.

Ключові слова: система управління бізнес-процесами, сервісно-орієнтована архітектура, нотація BPMN.

Предложена модель внедрения и использования сервисно-ориентированной системы управления бизнес-процессами предприятий гостиничного хозяйства, которая позволяет

реализовать автоматизированные действия и позволяет систематически и эффективно использовать имеющиеся ресурсы.

Ключевые слова: система управления бизнес-процессами, сервисно-ориентированная архитектура, нотация BPMN.

The model of the introduction and using of service-oriented business process management enterprises of hotel industry, which allows realizing automatic operation and provides an opportunity to systematically and effectively use current resources is offered.

Key words: business process management, service-oriented architecture, notation BPMN.

Вступ

Постановка проблеми. Системи управління бізнес-процесами (СУБП) дозволяє виконувати і швидко змінювати описи бізнес-процесів(БП) готельного підприємства, які реалізуються у системі управління. Як правило, більшість дій, що реалізуються в бізнес-процесах, є недосконалими, тобто виконуються людиною, що використовує програмний модуль. З появою або зміною БП у готельному підприємстві з'являється необхідність реалізовувати і автоматизувати нові дії, характерні для даних БП. Автоматизація дій вимагає створення і включення до інформаційної структури програмних модулів, які надають можливість підтримувати роботу з даними елементами процесу, використовуючи графічне оформлення. Можливість модернізації СУБП за рахунок програмних модулів неминуче відображається на вимогах до моделі даної інформаційної системи. Таким чином, СУБП у готельному підприємстві повинна підтримувати гнучкість не лише в управлінні процесами, але і функціональну гнучкість, пов'язану із зміною і додаванням в систему готельного підприємства функцій, що реалізуються програмними модулями.

Анліз досягнень. Накопичений значний науково-практичний досвід в розробці моделей системи покращення якості надання готельних послуг, як закордонних, так і вітчизняних дослідників: методичною основою даних розробок є роботи таких зарубіжних дослідників, як Вил ван дер Аалст, Кейс ван, Л. Фишер, Д. Чаф, Ф. Лейман, Д. Роллер. Серед вітчизняних дослідників даного напрямку необхідно відзначити роботи Серебрякова В. А., Бездушного А. Н., Шундєєва А. С.

Мета статті. Полягає у визначенні шляхів оптимізації сервісно-орієнтованої моделі управління бізнес-процесами готельного підприємства із урахуванням вимог функціональної гнучкості програмних модулів та підвищення ефективності використання автоматизованих систем.

Класифікація існуючих методів дослідження

Для досягнення наукових результатів, у статті використано загальнонаукові методи та підходи: системно-логічний, структурний та комплексний підходи, методи аналізу та синтезу теоретичних джерел і наукової літератури, дедукції та індукції.

Виклад основного матеріалу дослідження

На сьогоднішній день більшість сучасних СУБП побудовані відповідно до принципів орієнтованої для сервісу архітектури (COA – з англ. Service-Oriented Architecture). Згідно з визначенням фахівців корпорації IBM: «COA – це прикладна архітектура, в якій всі функції визначені як незалежні сервіси з інтерфейсами, що

викликаються. Звернення до цих сервісів в певній послідовності дозволяє реалізовувати той або інший бізнес-процес», який має чутливий алгоритм до впливу зовнішніх та внутрішніх чинників саме на підприємствах сфери послуг. Фактично, сервіс в СУБП – це програмний модуль, який дозволяє реалізовувати виконання автоматизованих і напіваавтоматизованих дій. СУБП при цьому є сукупністю сервісів і окремих додатків. При такому підході, сервіси можуть додаватися в систему управління БП готельного підприємства або змінюватися розробниками, що дозволяє розширювати технічні можливості всій СУБП. Автоматизація окремих дій за допомогою сервісів робить можливим скоротити витрати на виконання екземпляра процесу. Слід зазначити, що концепція СОА суперечить домінуючої до недавнього часу концепції монолітного програмного забезпечення готелів, де більшість функцій зосереджена в єдиному додатку. Даний етап пов'язаний з переходом від програмування і перепрограмування інформаційних систем готельного підприємства, відповідно до змінних вимог до збірки даних систем з окремих програмних компонентів. В майбутньому, це дозволить інтегрувати програмні системи, які знаходяться не лише всередині готельних підприємств, але і системи різних підприємств харчової чи розважальної індустрії, які забезпечують безпосередній зв'язок з ними. Така інтеграція дасть можливість скоротити витрати на комунікацію співробітників підприємств, що має позитивно позначитися на вартості товарів та послуг, що надаються.

Технічні особливості концепції СОА полягають у наступних параметрах: у інтерфейсі сервісу визначені входні параметри та описані результуючі параметри. Інтерфейс сервісу, згідно концепції СОА, має бути нейтральним по відношенню до специфіки реалізації сервісу, яка визначається апаратною платформою, операційною системою, мовою програмування. Подібна нейтральність забезпечує універсальність взаємодії сервісів в різноманітному середовищі, а сервіси, інтегровані за допомогою таких інтерфейсів, відрізняються достатньою пасивністю зв'язків (*loose coupling*). Слабка зв'язаність забезпечує просту і швидку адаптацію всієї СУБП готельного підприємства до змін в структурі та принципах реалізації сервісів.

На архітектурному рівні, при зверненні до сервісу, не має диференціації, чи є він локальним (реалізованому в даній системі), або видаленим (який знаходиться в мережі) по відношенню до інформаційної системи. Сервіси можуть взаємодіяти за допомогою різних технологій, наприклад, таких як REST, DCOM, CORBA, проте найбільша універсальність взаємодії досягається при реалізації веб-сервер-сервісів. Веб-сервер-сервіси можуть використовувати протоколи високого рівня для взаємодії один з одним. Перераховані протоколи підтримуються майже усіма програмними платформами. Найбільш зручним протоколом, який використовується для передачі даних веб-сервер-сервісами є HTTP, (англ. Hyper Text Transfer Protocol) оскільки цей протокол дозволяє забезпечити швидку передачу текстових даних. Поверх HTTP використовується протокол обміну повідомленнями SOAP (англ. Simple Object Access Protocol — простий протокол доступу до об'єктів) [1], спеціально розроблений для взаємодії веб-сервер-сервісів. Текстові дані по SOAP передаються в XML1-форматі. Інтерфейс веб-сервера-сервісу описується за допомогою мови WSDL (англ. Web Services Description Language — мова опису веб-сервер-сервісів) [4], заснованої також на XML. Кожен веб-

сервер-сервіс, доступний в мережі, має свою адресу UPJ (англ. Uniform Resource Identifier - уніфікований ідентифікатор ресурсу). Дана адреса має бути зареєстрована в реєстрі веб-сервер-сервісів UDDI [6], який знаходиться в мережі. Додаток, який викликається або веб-сервер-сервіс спочатку звертається до реєстру UDDI задля отримання URI, необхідного веб-сервер-сервісу. Якщо необхідний URI знайдений, то ініціюючий додаток, або веб-сервер-сервіс отримує дану адресу, після чого виконується з'єднання з необхідним веб-сервером-сервісом.

Основні переваги використання COA для підприємств готельного господарства полягають в наступних параметрах: декомпозиція функцій інформаційної системи, як сприяє більш гнучкому управлінню функціями БП готельного підприємства за допомогою COA; можливість багатократного використання сервісів в різних БП готельного підприємства; збільшення швидкості реагування на змінні умови готельного бізнесу з можливістю швидкої модернізації інформаційної системи (ІС); забезпечення можливості інтеграції даної інформаційною системою з іншими ІС за допомогою сервісів, що дозволяє об'єднати ІС не лише всередині підприємства, але і взаємодіяти з ІС інших підприємств. Слід зазначити, що в СУБП готельного підприємства сервіси не взаємодіють один з одним безпосередньо, вони обмінюються інформацією через проміжне програмне забезпечення (middleware). Проміжне програмне забезпечення виконує наступні функції: кешування даних, переклад з різних форматів даних. Окрім адміністрування, система, побудована за принципами COA та повинна підтримувати функції обліку і контролю версій сервісів, задля покращення якості.

Для цього використовується репозиторій сервісів, який зберігає такі дані, як версія сервісу, назва, тип, опис, місце розміщення тощо. На сьогоднішній день існує безліч СУБП, створених у відповідності з принципами даної архітектури. Прикладом, можуть слугувати такі системи, як: EMC Business Process Manager,

TIBCO iProcess Suite, Ultimus BPM Suite і інші. Приклад процесу обробки страхової вимоги у вигляді нотації BPMN представлений на рис.1.

Схема складається з двох пулів, що позначають учасників бізнес-процесу («Готельне підприємство» і «Клієнт»). Між учасниками БП відбувається обмін

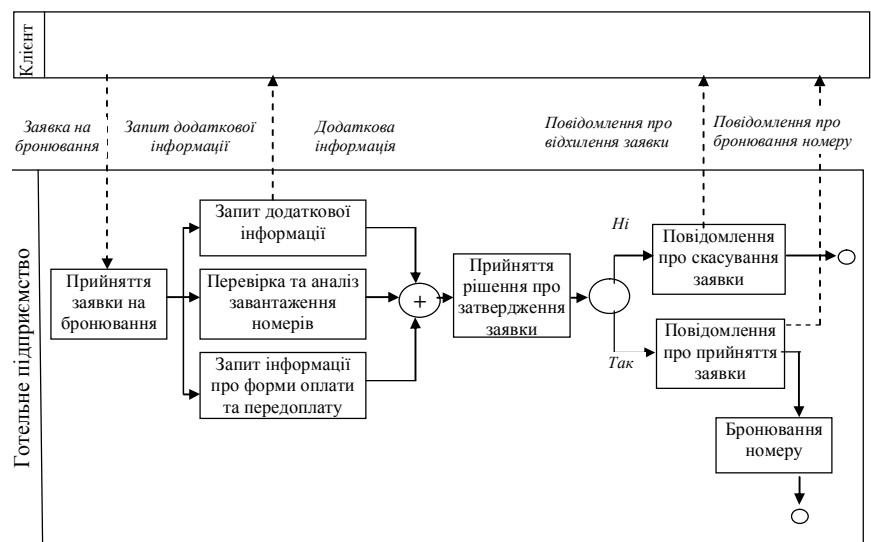


Рис. 1. Процес обробки заявки на бронювання в BPMN нотації

інформацією на різних стадіях БП, який позначається переривистими зв'язками. Процес обробки замовлення ініціює вхідне повідомлення від клієнта, яке позначається на схемі як початок процесу. Процес може завершитися виконанням одного з двох варіантів: сповіщенням про відмову клієнтові у бронюванні номеру

або реалізацією замовлення. Нотація BPMN розширена і дозволяє використовувати асоціації і анотації для позначення взаємин з іншими об'єктами усередині або зовні СУБП. Наприклад, можна співвіднести бізнес-процеси з даними, які вони використовують, з системами, на яких вони розгорнуті, і так далі. Іншою важливою перевагою BPMN перед UML є те, що схеми процесів даного стандарту можуть бути переведені в описи на формальних мовах опису процесу. Підтримуються такі мови, як XPDL, BPEL4WS і BPML.

Висновки

Показані переваги реалізації СУБП з використанням концепції орієнтованої для сервісу архітектури, яка дозволяє розширювати можливості СУБП по роботі з даними без залучення істотних витрат. При аналізі стандартизації в сфері технологій СУБП, виявлено, що найбільшими можливостями серед мов формального опису процесів володіє мова BPEL4WS, підтримувана багатьма крупними виробниками ПЗ. Визначено, що серед стандартів для графічного опису БП в СУБП найбільш відповідним є стандарт BPMN, який володіє найбільш виразною потужністю в порівнянні з конкуруючими стандартами.

Список літератури: 1. *Баронов В.В.* Автоматизация управления предприятием / Баронов В.В. – М.: «Инфра – М», 2000. 2. *Еймор Д.* Електронний бізнес / Еймор Д. – К.: «Аконіт», 2009. 3. *Морозов М. А.* Информационные технологии в социально-культурном сервисе и туризме / М. А. Морозов, Н. С. Морозова. Оргтехника. – М.: ACADEMIA, 2004. – 240 с. 4. *Шверин, Р.* Императив интеграции. [Електронний ресурс] / Р. Шверин // Електронні, текстові дані. – Режим доступу: <http://www.bpmi.org/bpml-spec.esp>. 5. BPMN. Web Services for Business Process Design. [Електронний ресурс] // Електронні, текстові дані. – Режим доступу: <http://xml.coverpages.org>. 7. Business Process Management Initiative. BPML language specification [Електронний ресурс] / <http://www.bpmi.org>. – Режим доступу: <http://www.bpmi.org/bpml-spec.esp>.

Поступила в редколлегию 10.05.2011

УДК 621.362–192

В.П. ЗАЙКОВ, канд. техн. наук, снс, ГП «НИИ «Шторм», Одесса

В.И. МЕЩЕРЯКОВ, док. техн. наук, проф., зав.каф., Одесский

государственный экологический университет

А.А. ГНАТОВСКАЯ, ст.преп., Одесский государственный экологический университет

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАИМЕНЬШЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ЗАДАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Отримані співвідношення для оцінки показників надійності, проведений порівняльний аналіз основних параметрів двокаскадних термоелектричних охолоджувальних пристроїв (ТЕП). Приведені дані розрахунків основних параметрів та показана можливість вибору режиму роботи двокаскадних ТЕП заданої конструкції.

Ключові слова: надійність, двокаскадні термоелектричні охолоджувальні пристрої.

Получены соотношения для оценки показателей надежности и проведен сравнительный анализ основных параметров двухкаскадных термоэлектрических охлаждающих устройств (ТЭУ).

Приведены данные расчетов основных параметров и показана возможность выбора режима работы двухкаскадных ТЭУ заданной конструкции.

Ключевые слова: надежность, двухкаскадные термоэлектрические охлаждающие устройства.

Relations are obtained to assess the reliability and comparative analysis of key parameters of two-cascade thermoelectric device. Data of calculations of key parameters is cited and possibility of a choice of an operating mode two-cascade thermoelectric cooling device is shown the set design.

Key words: reliability, two-cascade thermoelectric cooling device.

Введение

В последнее время в термоэлектрическом приборостроении все более широкое применение находят унифицированные ряды модулей и собранные на их основе каскадные термоэлектрические охлаждающие устройства (ТЭУ) различных конструкций. Применение каскадных ТЭУ в РЭА обусловлено не только обеспечением более глубокого охлаждения по сравнению с однокаскадными ТЭУ, необходимостью достижения максимально возможного уровня охлаждения, но и повышением энергетической эффективности охлаждения.

В ряде случаев проектирования каскадного ТЭУ в распоряжении разработчика имеется ряд унифицированных (стандартных) модулей, отличающихся количеством термоэлементов заданной геометрии, из которых компонуется каскадное ТЭУ. При этом необходимо при заданном перепаде температур и тепловой нагрузке определить возможность рационального использования выбранной конструкции ТЭУ с прогнозируемыми показателями надежности для различных условий эксплуатации.

Для этой цели необходимо определить основные значимые параметры и оценить показатели надежности ТЭУ, чему и посвящена настоящая работа.

Основная часть

В настоящей работе рассмотрены двухкаскадные ТЭУ с последовательным электрическим соединением каскадов, которые, как правило, собираются на базе унифицированных и одинаковых ветвей термоэлементов или стандартных модулей с такими ветвями.

Для решения поставленной задачи воспользуемся следующими соотношениями:

Общий перепад температур двухкаскадного ТЭУ ΔT , K

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 = \Delta T_{\max 1} \Theta_1 + \Delta T_{\max 2} \Theta_2 \quad (1)$$

где $\Delta T_1, \Delta T_2$ – перепад температур соответственно в «горячем» и «холодном» каскадах; в дальнейшем первом и втором каскадах.

$\Delta T_{\max 1}, \Delta T_{\max 2}$ – максимальный перепад температур соответственно в первом и втором каскадах, K;

$\Theta_1 = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_{\max 1}}, \Theta_2 = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_{\max 2}}$ – относительный перепад температур в каскадах.

Холодопроизводительность Q_0 двухкаскадного ТЭУ можно записать в виде:

$$Q_0 = n_1 I_{\max 1}^2 R_1 (2B_1 - B_1^2 - \Theta_1) \quad (2)$$

где n_1 – количество термоэлементов в первом каскаде, шт;

$$I_{\max 1} = \frac{e_1 T_0}{R_1} - \text{максимальный рабочий ток, } A;$$

T_0 – температура теплопоглощающего спая, K ;

e_1 – коэффициент термоэдс ветви термоэлемента первого каскада, B/K ;

R_1 – электрическое сопротивление ветви термоэлемента, Ω ;

$$B_1 = \frac{I}{I_{\max 1}} - \text{относительный рабочий ток, } \text{отн. ед.}$$

При последовательном электрическом соединении каскадов должно соблюдаться условие:

$$I_{\max 1} B_1 = I_{\max 2} B_2 \quad (3)$$

где $B_2 = \frac{I}{I_{\max 2}}$ – относительный рабочий ток, *отн. ед.*;

$$I_{\max 2} = \frac{e_2 T_1}{R_2} - \text{максимальный рабочий ток, } A;$$

e_2, R_2 – соответственно коэффициент термоэдс и электрическое сопротивление ветви термоэлемента второго каскада, B/K , Ω .

T_1 – промежуточная температура, K .

Из условия теплового сопряжения каскадов отношение количества термоэлементов в смежных каскадах можно записать в виде:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_{\max 1}^2 R_1}{I_{\max 2}^2 R_2} \frac{\left[2B_1 \left(1 + \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \Theta_1 \right) + B_1^2 - \Theta_1 \right]}{(2B_2 - B_2^2 - \Theta_2)}, \quad (4)$$

Подставив выражения для Θ_1 из (2), Θ_2 из (1) и B_2 из (3) в выражение (4) получим соотношение для определения B_1 в виде уравнения третьей степени относительно B_1 ,

$$B_1^3 a - B_1^2 b + B_1 c - d = 0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{где} \quad a &= 2 \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \gamma; \quad b = \frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} + \frac{I_{\max 1}^2}{I_{\max 2}^2} + 2\gamma \left(1 + 2 \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \right); \\ c &= 2 \left(\frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} + \frac{I_{\max 1}}{I_{\max 2}} + C_1 \gamma \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \right); \quad d = C_1 \left(\gamma + \frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} \right) + \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}}; \\ \gamma &= \frac{n_1}{n_2} \frac{I_{\max 1}^2 R_1}{I_{\max 2}^2 R_2}; \quad C_1 = \frac{Q_0}{n_1 I_{\max 1}^2 R_1}. \end{aligned}$$

Решив уравнение (5) численными методами, получим значение B_1 при заданных величинах n_1 , n_2 , Q_0 , ΔT .

Выражение (5) можно упростить с погрешностью менее 1% и записать в виде

$$B_1^2 - B_1 c + d = 0 \quad (6)$$

Используя соотношения (1...4) получим выражения для определения Θ_1 и Θ_2

$$\Theta_1 = \frac{\frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}} - 2B_1 \left(\frac{I_{\max 1}}{I_{\max 2}} - \gamma \right) + B_1^2 \left(\frac{I_{\max 1}^2}{I_{\max 2}^2} + \gamma \right)}{\frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} + \gamma \left(1 - 2B_1 \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \right)} \quad (7)$$

$$\Theta_2 = 2B_1 \left(\frac{I_{\max 1}}{I_{\max 2}} - \gamma \right) + \gamma \Theta_1 \left(1 - 2B_1 \frac{\Delta T_{\max}}{T_0} \right) - B_1^2 \left(\frac{I_{\max 1}^2}{I_{\max 2}^2} + \gamma \right) \quad (8)$$

Используя метод последовательных приближений, определяем последовательность температур. Затем уточняем величины B_1 , B_2 , Θ_1 , Θ_2 и т.д. с учетом температурной зависимости параметров. Достаточно двух-трех приближений.

При оценке показателей надежности двухкаскадного ТЭУ, а именно, интенсивности отказов λ , либо вероятности безотказной работы P полагаем, что все термоэлементы ТЭУ, в том числе и каскады, соединены последовательно.

При этом выход из строя любого термоэлемента (ветви) приводит к выходу из строя модуля, каскада и устройства в целом.

В соответствии с [1, 2] относительную величину интенсивности отказов ТЭУ можно представить в виде суммы интенсивностей отказов каждого каскада записать в виде:

$$\frac{\lambda_{\Sigma}}{\lambda_0} = \frac{n_1 B_1^2 (\Theta_1 + C_1) \left(B_1 + \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \Theta_1 \right)^2}{\left(1 + \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \Theta_1 \right)^2} K_{T1} + \frac{n_2 B_2^2 (\Theta_2 + C_2) \left(B_2 + \frac{\Delta T_{\max 2}}{T_1} \Theta_2 \right)^2}{\left(1 + \frac{\Delta T_{\max 2}}{T_1} \Theta_2 \right)^2} K_{T2}, \quad (9)$$

где λ_0 – номинальная интенсивность отказов, $1/\text{ч}$;

$$C_2 = \frac{Q_0 + W_1}{n_2 I_{\max 2}^2 R_2};$$

W_1 – мощность потребления первого каскада, Вт .

K_{T1} , K_{T2} [3] – коэффициенты, учитывающие влияние низких температур.

В таблицах 1, 2, 3, 4 приведены результаты расчетов основных параметров двухкаскадного ТЭУ заданной конструкции ($n_1 = 9$ при вариации величины $n_1/n_2 = 1,0; 0,83; 0,67; 0,5; 0,33; 0,2; 0,1$) при перепадах температур $\Delta T = 60 \text{ К}; 70 \text{ К}; 80 \text{ К}; 90 \text{ К}$ и тепловой нагрузке $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$; $1/s = 10$; $T = 300 \text{ К}$.

Таблица 1. Результаты расчетов при $\Delta T = 60 \text{ К}$

№ п/п	B_1	B_2	I_1, A	T_1, K	Θ_1 , отн. ед.	Θ_2 , отн. ед.	$\frac{n_1}{n_2}$	ε^N отн. ед.	$\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}$	$\lambda_{\Sigma} \cdot 10^8$ $1/\text{ч}$	P
1	0,41	0,37	1,90	279,0	0,60	0,22	1,00	0,058	0,042	1,14	0,99989
2	0,35	0,32	1,59	274,0	0,52	0,29	0,83	0,072	0,024	0,63	0,99994
3	0,32	0,29	1,44	272,0	0,48	0,32	0,67	0,075	0,017	0,47	0,99994
4	0,30	0,27	1,38	269,2	0,46	0,36	0,50	0,067	0,015	0,41	0,99995
5	0,28	0,27	1,29	267,2	0,42	0,39	0,33	0,055	0,017	0,45	0,99996
6	0,27	0,26	1,22	266,0	0,40	0,40	0,20	0,039	0,021	0,56	0,99994
7	0,26	0,25	1,18	265,0	0,39	0,42	0,10	0,022	0,034	0,91	0,99991

Таблица 2. Результаты расчетов при $\Delta T = 70$ К

№ п/п	B_1	B_2	I_1, A	T_1, K	$\Theta_1,$ отн. ед.	$\Theta_2,$ отн. ед.	$\frac{n_1}{n_2}$	ε^N отн. ед.	$\frac{\lambda_\Sigma}{n_1 \lambda_0}$	$\lambda_\Sigma \cdot 10^8$ 1/ч	P
1	0,55	0,48	2,40	274,0	0,74	0,29	0,83	0,034	0,158	4,25	0,99957
2	0,47	0,43	2,14	269,0	0,66	0,36	0,67	0,037	0,095	2,56	0,99974
3	0,41	0,38	1,90	264,0	0,59	0,43	0,50	0,038	0,064	1,73	0,99983
4	0,37	0,35	1,69	261,0	0,54	0,47	0,33	0,034	0,057	1,55	0,99985
5	0,36	0,34	1,63	260,0	0,53	0,50	0,20	0,024	0,073	1,96	0,99980
6	0,35	0,33	1,57	259,0	0,51	0,51	0,10	0,014	0,110	2,98	0,99970

Таблица 3. Результаты расчетов при $\Delta T = 80$ К

№ п/п	B_1	B_2	I_1, A	T_1, K	$\Theta_1,$ отн. ед.	$\Theta_2,$ отн. ед.	$\frac{n_1}{n_2}$	ε^N отн. ед.	$\frac{\lambda_\Sigma}{n_1 \lambda_0}$	$\lambda_\Sigma \cdot 10^8$ 1/ч	P
1	0,65	0,60	2,83	262,0	0,81	0,47	0,50	0,018	0,463	12,51	0,99875
2	0,53	0,51	2,38	256,0	0,71	0,56	0,33	0,019	0,280	7,57	0,99924
3	0,48	0,46	2,13	254,0	0,66	0,61	0,20	0,015	0,270	7,33	0,99927
4	0,46	0,43	2,00	252,0	0,63	0,64	0,10	0,009	0,400	10,79	0,99892

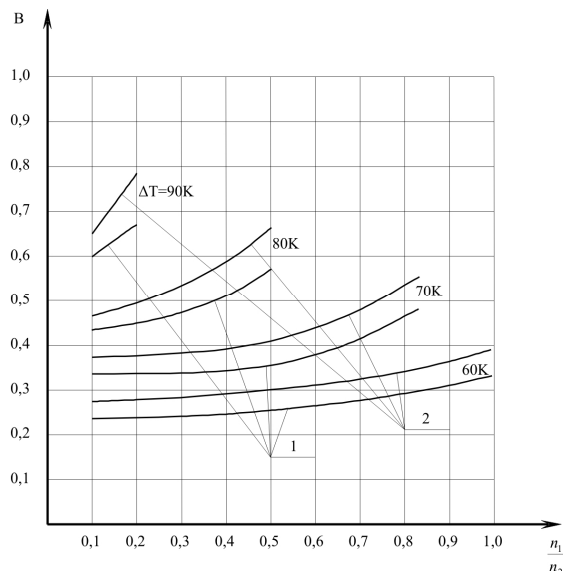
Таблица 4. Результаты расчетов при $\Delta T = 90$ К

№ п/п	B_1	B_2	I_1, A	T_1, K	$\Theta_1,$ отн. ед.	$\Theta_2,$ отн. ед.	$\frac{n_1}{n_2}$	ε^N отн. ед.	$\frac{\lambda_\Sigma}{n_1 \lambda_0}$	$\lambda_\Sigma \cdot 10^8$ /ч	P
1	0,79	0,71	3,24	249,0	0,88	0,71	0,20	0,006	1,653	49,22	0,99509
2	0,67	0,61	2,75	246,0	0,81	0,75	0,10	0,005	1,822	44,64	0,99554

На рис. 1 представлена зависимость относительного рабочего тока B_1 и B_2 в каскадах от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 при температуре $T = 300$ К, $Q_0 = 0,1$ Вт при общем перепаде температур на двухкаскадном ТЭУ $\Delta T = 60$ К; 70 К; 80 К; 90 К. С уменьшением отношения количества термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 величина относительного рабочего тока B_1 и B_2 уменьшается при заданном перепаде температур. С ростом перепада температур ΔT величина относительного рабочего тока в каскадах B_1 и B_2 увеличивается при заданном отношении n_1/n_2 .

На рис. 2 представлена зависимость относительного перепада температур в каскадах Θ_1 и Θ_2 двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 при $T = 300$ К, $Q_0 = 0,1$ Вт и перепадах температур $\Delta T = 60$ К; 70 К; 80 К; 90 К.

С уменьшением отношения количества термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 относительный перепад Θ_1 в первом каскаде уменьшается, а во втором каскаде Θ_2 увеличивается.



где 1 – V_1 ; 2 – V_2

Рис.1 Зависимость относительного рабочего тока в каскадах V_1 и V_2 двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах $\frac{n_1}{n_2}$ при $T = 300 \text{ K}$, $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 60 \text{ K}$; 70 K ; 80 K ; 90 K

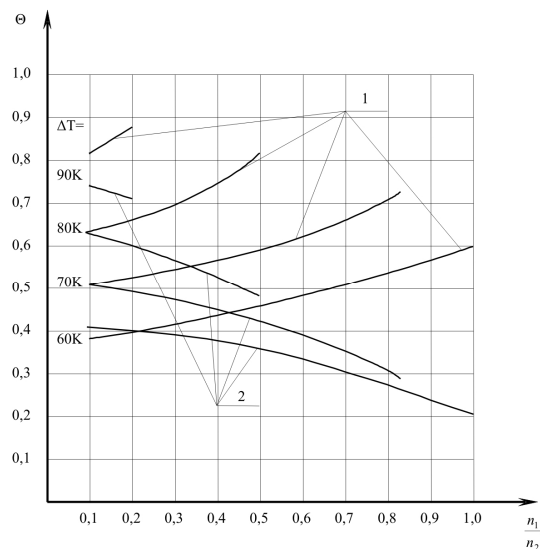
смежных каскадах $\frac{n_1}{n_2}$ при $T = 300 \text{ K}$,

$Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 60 \text{ K}$; 70 K ; 80 K ; 90 K

При этом для каждого значения перепада температур ΔT можно подобрать такое отношение n_1/n_2 , когда $\Theta_1 = \Theta_2$, т.е. относительные перепады равны. Так для $\Delta T = 60 \text{ K}$ $T = 300 \text{ K}$, $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$ при $n_1/n_2 = 0,2$ $\Theta_1 = \Theta_2 = 0,4$. С ростом общего перепада температур ΔT величина относительных перепадов температур Θ_1 и Θ_2 увеличивается при заданном значении n_1/n_2 .

На рис. 3 представлена зависимость промежуточной температуры T_1 двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 при $T = 300 \text{ K}$, $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 60 \text{ K}$; 70 K ; 80 K ; 90 K . С уменьшением отношения n_1/n_2 величина промежуточной температуры уменьшается. С ростом общего перепада температур величина промежуточной температуры уменьшается.

На рис. 4 представлена зависимость относительной



где 1 – Θ_1 ; 2 – Θ_2

Рис.2 Зависимость относительного перепада температур Θ_1 и Θ_2 двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах $\frac{n_1}{n_2}$ при $T = 300 \text{ K}$, $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 60 \text{ K}$; 70 K ; 80 K ; 90 K .

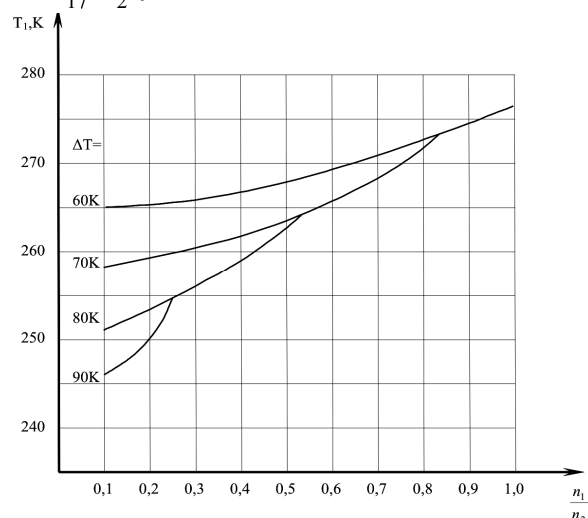


Рис.3. Зависимость промежуточной температуры T_1 двухкаскадного ТЭУ от отношения количества

термоэлементов в смежных каскадах $\frac{n_1}{n_2}$ при

$T = 300 \text{ K}$, $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 60 \text{ K}$; 70 K ; 80 K ; 90 K .

величины интенсивностей отказов $\frac{\lambda_{\Sigma}}{\lambda_0 n_1}$ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 при $T = 300\text{ К}$, $Q_0 = 0,1\text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 60\text{ К}$; 70 К ; 80 К ; 90 К .

Характерной особенностью кривых является наличие минимума функции $\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}$ при соответствующих значениях n_1/n_2 для различных перепадов температур ΔT . С ростом перепада температур ΔT величина $\left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}\right)_{\min}$ увеличивается и смещается в сторону меньших значений n_1/n_2 .

Соотношение $\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}$ носит обобщенный характер и может использоваться для расчетов при любом значении величины n_1 .

На рис. 5, 6 представлена зависимость интенсивности отказов λ_{Σ} двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 при $n_1 = 9$, $T = 300\text{ К}$, $Q_0 = 0,1\text{ Вт}$ для различных перепадов температур ΔT . Характер зависимости идентичен рис. 4.

На рис. 7 представлена зависимость вероятности безотказной работы P двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 при $T = 300\text{ К}$, $Q_0 = 0,1\text{ Вт}$ для различных перепадов температур ΔT . Характерной особенностью кривых является наличие максимума при соответствующих значениях n_1/n_2 для различных перепадов температур ΔT .

С ростом перепада температур вероятность безотказной работы уменьшается и максимум сдвигается в сторону меньших значений отношения n_1/n_2 , а рисунке 8 представлена зависимость холодильного коэффициента ε^N двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 при $n_1 = 9$, $T = 300\text{ К}$, $Q_0 = 0,1\text{ Вт}$ для различных перепадов температур ΔT . Характерной особенностью кривых является наличие максимума ε^N при соответствующих значениях n_1/n_2 для различных перепадов температуры. С ростом перепада температур холодильный коэффициент уменьшается и его максимум смещается в сторону меньших значений отношения n_1/n_2 . Таким образом, при выборе конструкции двухкаскадного ТЭУ целесообразно ориентироваться на ту конструкцию, которая бы обеспечивала минимальную интенсивность отказов при заданных перепаде температур и тепловой нагрузке. При этом величина холодильного коэффициента должна быть близка к максимальным значениям.

На рисунке 9 представлена зависимость величины $\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}$ от отношения количества

термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 и перепада температур ΔT двухкаскадного ТЭУ при $T = 300\text{ К}$, $Q_0 = 0,1\text{ Вт}$. С ростом перепада температур ΔT величина $\left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}\right)_{\min}$ увеличивается.

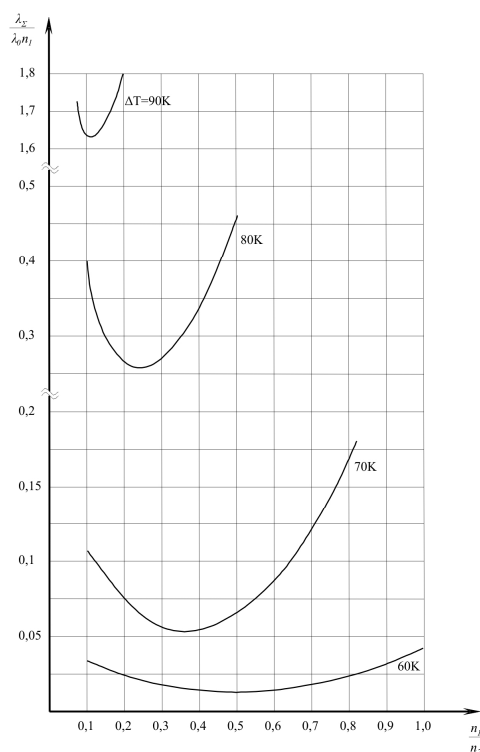


Рис. 4. Зависимость относительной величины интенсивности отказов $\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}$ двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах $\frac{n_1}{n_2}$ при $T = 300 \text{ K}$, $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 60 \text{ K}$; 70 K ; 80 K ; 90 K .

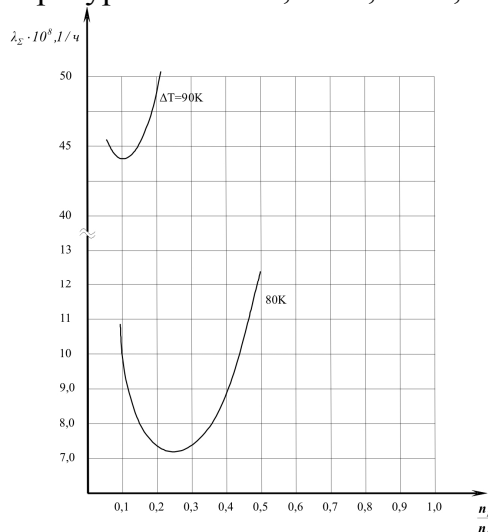


Рис. 6. Зависимость интенсивности отказов λ_{Σ} двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах $\frac{n_1}{n_2}$ при $n_1 = 9$, $T = 300 \text{ K}$, $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 80 \text{ K}$; 90 K .

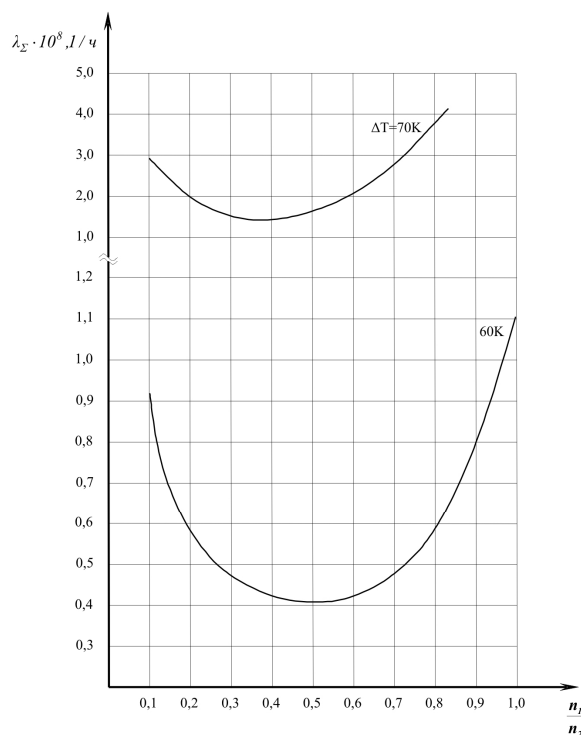


Рис. 5. Зависимость интенсивности отказов λ_{Σ} двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах $\frac{n_1}{n_2}$ при $n_1 = 9$, $T = 300 \text{ K}$, $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 60 \text{ K}$; 70 K .

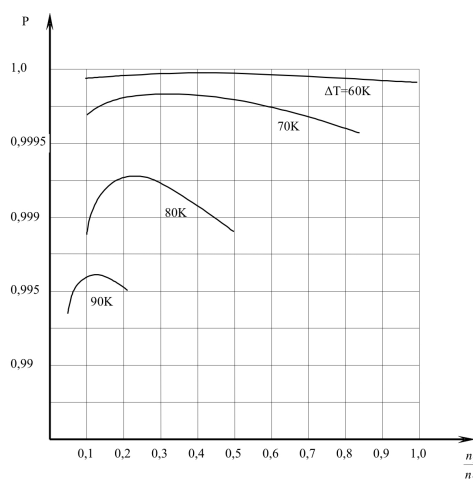


Рис. 7. Зависимость вероятности безотказной работы P двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах $\frac{n_1}{n_2}$ при $n_1 = 9$, $T = 300 \text{ K}$, $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 60 \text{ K}$; 70 K ; 80 K ; 90 K .

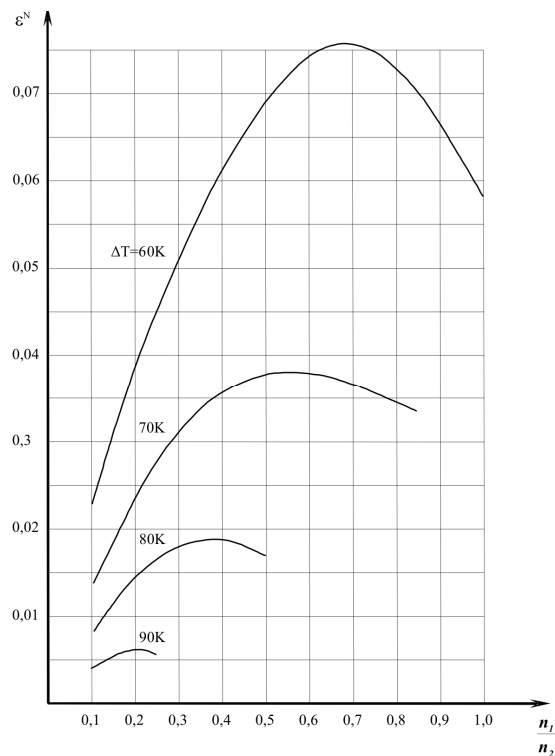
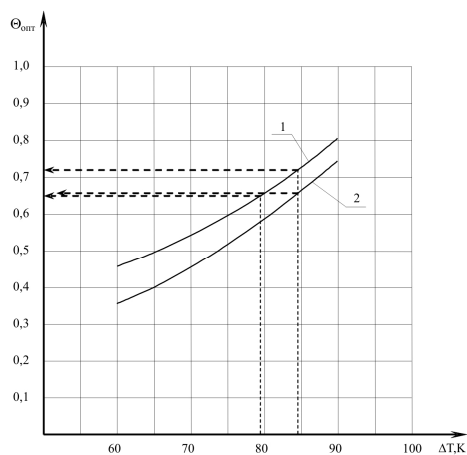
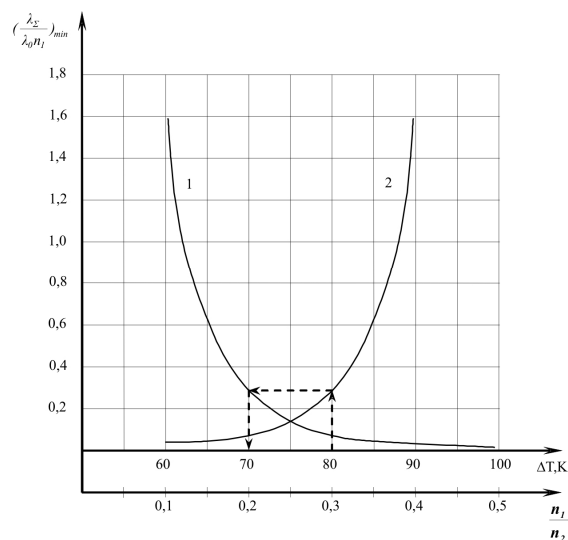


Рис. 8. Зависимость холодильного коэффициента ε^N двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах $\frac{n_1}{n_2}$ при $T = 300\text{ K}$, $Q_0 = 0,1\text{ Вт}$ и перепадах температур $\Delta T = 60\text{ K}$; 70 K ; 80 K ; 90 K

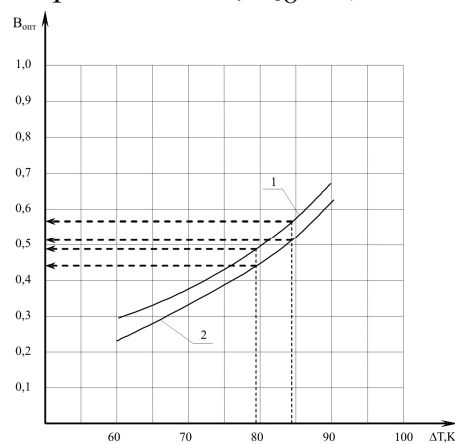


где $1 - \Theta_{\text{опт1}}$; $2 - \Theta_{\text{опт2}}$
Рис.10. Зависимость оптимальных относительных перепадов температур $\Theta_{\text{опт1}}$ и $\Theta_{\text{опт2}}$ в каскадах, соответствующих наименьшей интенсивности отказов от общего перепада температур ΔT двухкаскадного ТЭУ при $T = 300\text{ K}$, $Q_0 = 0,1\text{ Вт}$



где $1 - \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0} \right)_{\min} = f\left(\frac{n_1}{n_2} \right)$; $2 - \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0} \right)_{\min} = f(\Delta T)$

Рис. 9. Зависимость величины $\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}$ двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах $\frac{n_1}{n_2}$ и от перепада температур ΔT при $T = 300\text{ K}$, $Q_0 = 0,1\text{ Вт}$



где $1 - B_1$; $2 - B_2$
Рис. 11. Зависимость величины относительного рабочего тока $B_{\text{опт}}$, соответствующей наименьшей интенсивности отказов, от общего перепада температур ΔT при $T = 300\text{ K}$, $Q_0 = 0,1\text{ Вт}$

С уменьшением отношения термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 интенсивность отказов также увеличивается. Так при $\Delta T = 80 \text{ K}$ минимальная интенсивность отказов составляет $\left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}\right)_{\min} = 0,27$ при соотношении количества термоэлементов в смежных каскадах $n_1/n_2 = 0,2$.

Остальные основные параметры $\Theta_1, \Theta_2, B_1, B_2, T_1$ легко определить с помощью графических зависимостей, представленных на рис. 10, 11, 12.

Так как при $\Delta T = 80 \text{ K}$

$\Theta_1 = 0,66; \Theta_2 = 0,6; B_1 = 0,48; B_2 = 0,45$ и промежуточная температура $T_1 = 254 \text{ K}$.

Для $\Delta T = 85 \text{ K}$ $\Theta_1 = 0,72; \Theta_2 = 0,67; B_1 = 0,56; B_2 = 0,52$ и промежуточная температура $T_1 = 249 \text{ K}$.

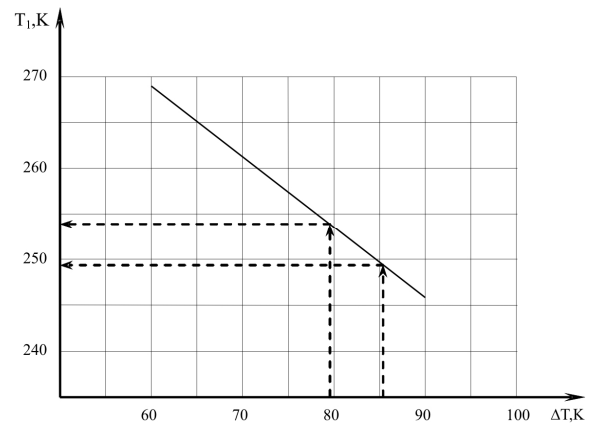


Рис. 12. Зависимость промежуточной температуры T_1 , обеспечивающей наименьшую интенсивность отказов двухкаскадного ТЭУ, от перепада температур ΔT при $T = 300 \text{ K}$, $Q_0 = 0,1 \text{ Вт}$

Выводы

Представлена и рассмотрена модель взаимосвязи показателей надежности двухкаскадных ТЭУ различных конструкций с основными значимыми параметрами при последовательном электрическом соединении каскадов.

Получены соотношения для оценки показателей надежности двухкаскадных ТЭУ различных конструкций, работающих в широком диапазоне перепадов температуры с учетом тепловой нагрузки.

Приведенные данные позволяют выбрать конструкцию двухкаскадного ТЭУ, обеспечивающего наименьшую интенсивность отказов.

Проведенный сравнительный анализ расчетных данных основных параметров показал возможность прогнозирования показателей надежности двухкаскадных ТЭУ различных конструкций и вести оптимизированное проектирование РЭА с использованием каскадных ТЭУ.

Список літератури: 1. Моисеев, В.Ф. Влияние режима работы охлаждающего термоэлемента на показатели надежности термоэлектрического устройства [Текст] / В.Ф.Моисеев, В.П. Зайков // Журнал ТКЭА. – 2001. – №4–5. – С. 30–32. 2. Зайков, В.П. Влияние тепловой нагрузки на показатели надежности термоэлектрического устройства [Текст] / В.П. Зайков, Л.А. Киншова, В.И. Марченко // Научно-технический сборник ТРиО. – 2003. – №1. – С. 52–62. 3. Зайков, В.П. Прогнозирование показателей надежности термоэлектрических охлаждающих устройств [Текст] Книга 1. Однокаскадные устройства / В.П. Зайков, Л.А. Киншова, В.Ф. Моисеев – Одесса: Политехпериодика, 2009. – 118с.

Поступила в редколлегию 15.05.2011

О.Г. КИСЕЛЬОВА, маг., ст. викл, НТУ «КПІ», Київ

В.П. ЯЦЕНКО, док. мед. наук, проф., зав.каф., НТУ «КПІ», Київ

К.М. ХІЛЬЧЕНКО, студ., НТУ «КПІ», Київ

В.Д. КІМ, студ., НТУ «КПІ», Київ

РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОГО АУДІОМЕТРА

Описуються можливості розробки віртуальних приладів на прикладі віртуального аудіометра. Приведено результати тестування програмного забезпечення для діагностики порушень слуху. Ключові слова: віртуальний прилад, NI LabVIEW, аудіограма.

Описываются возможности разработки виртуальных приборов на примере виртуального аудиометра. Приведены результаты тестирования программного обеспечения для диагностики нарушений слуха.

Ключевые слова: виртуальный прибор, NI LabVIEW, аудиограмма.

Describes the possibility of developing virtual instruments in biomedicine. For example was developed the virtual audiometer. Developed software was testing for the diagnostics of hearing dysfunctions.

Key words: virtual instrument, NI LabVIEW, audiogram.

Вступ

Проблема втрати слуху є однією з найбільш гострих, яка з кожним роком набирає все більшої актуальності в усьому світі. За статистикою, вродженими або набутими в результаті травм і хвороб порушеннями слуху страждає кожний дев'ятий житель України.

Своєчасна діагностика слуху дозволяє визначити і запобігти його порушенню. Існує кілька методів діагностики. Одним з них, звичайно ж, є відвідування фахівця-сурдолога, де в клінічних умовах пацієнтові проводять огляд, тобто отоскопію, а також аудіометрію. Для проведення аудіометрії застосовується спеціальне обладнання, а саме, прилад аудіометр, який визначає частоти, на яких чує пацієнт і наскільки ці значення відрізняються від норми.

Розвиток інформаційних технологій дозволяє розробку і застосування віртуальних приладів, які можуть бути використані як в клінічних установах, так і в домашніх [1].

Саме тому, метою роботи була розробка віртуального аудіометра (ВА), за допомогою якого пацієнти зможуть проводити діагностику самостійно, маючи комп'ютер і навушники.

Матеріали та методи

При аудіометрії важливим є перевірка можливості пацієнтом розрізняти звуки різних частотних діапазонів, зазвичай це діапазон від 250 Гц до 8 кГц. Ці межі визначаються тим, що людська мова має частоту від 200 Гц до 6 кГц, а органи слуху в нормі сприймають звуки на частотах від 20 Гц до 20 кГц.

Схема алгоритму вимірювання слуху за допомогою розробленого в роботі віртуального приладу зображена на рис. 1. Методика дослідження полягає в тому,

що за допомогою навушників, через які подаються згенеровані у ВА звукові сигнали різних частот і різної амплітуди, пацієнт сприймає граничні значення частот і амплітуд, на яких він сприймає звуковий сигнал і може зафіксувати у ВА. Результатом дослідження є аудіограма, яка відображає стан і ступінь слуху у людини. Аудіограма, є залежністю частоти від мінімальної амплітуди. Під амплітудою розуміють гучність, на якій пацієнт сприймає звуковий сигнал.

ВА представляє собою віртуальний прилад, що генерує звуковий сигнал, амплітуду і частоту якого можна регулювати з великою точністю.

Блок-схема алгоритму роботи ВА зображена на рис. 2. У ВА звуковий сигнал генерується за формулою $f(x)=\sin(\omega t)$. Пацієнт обирає граничне значення амплітуди, при якому він перестає чути звуковий сигнал для кожного значення частоти. Ці значення записуються у масив даних.

Після заповнення масиву даних будується аудіограма.

Розробка ВА проводилася в середовищі розробки лабораторних віртуальних приладів NI LabVIEW [2, 3]. Фрагмент програмного коду зображено на рис. 3.

У роботі був використаний віртуальний прилад з бібліотеки функцій

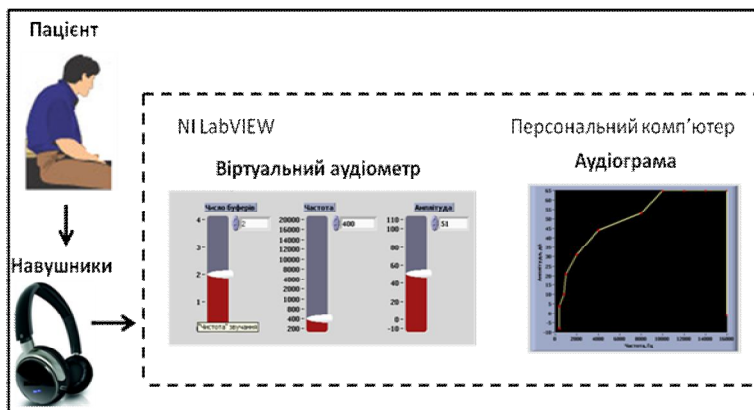


Рис. 1. Схема алгоритму вимірювання слуху за допомогою віртуального аудіометру

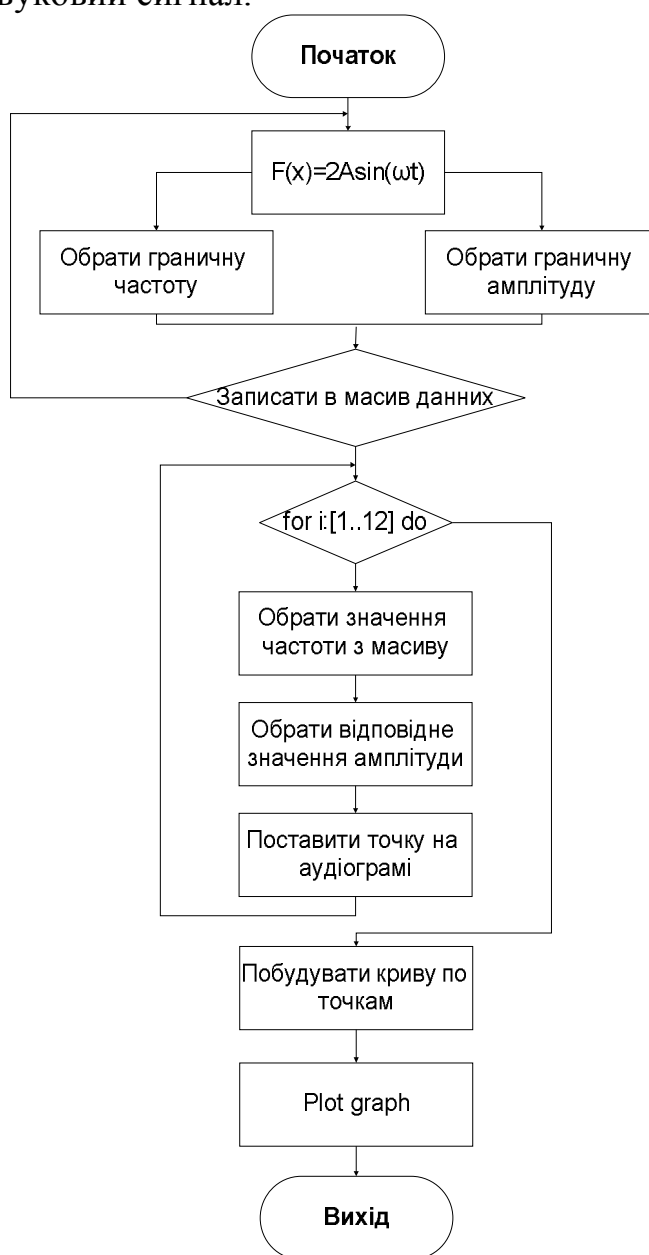


Рис.2. Блок-схема алгоритму роботи віртуального аудіометра

NI LabVIEW, який генерує звуковий сигнал, а також дозволяє регулювати «чистоту» звуку, за допомогою «числа буферів» (рис. 4).

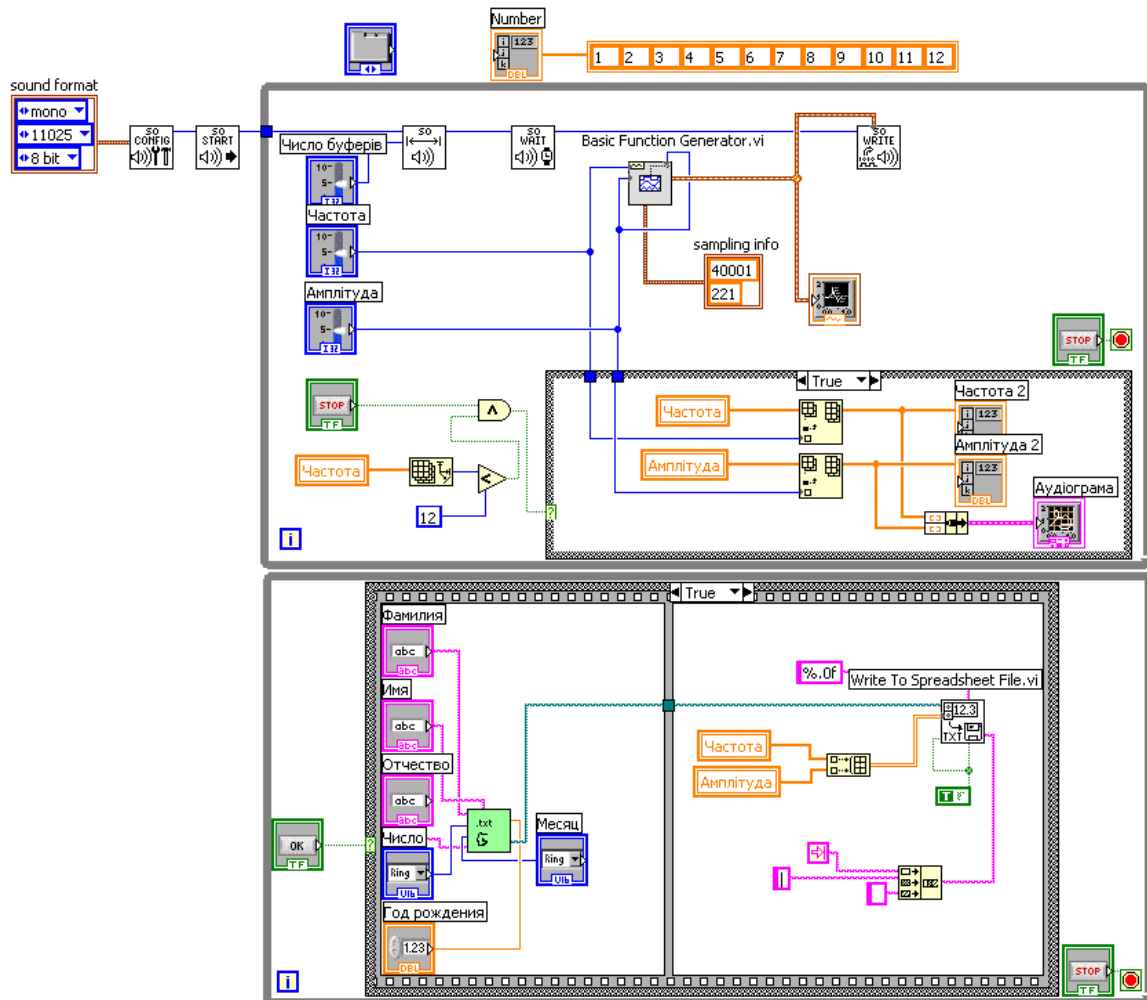


Рис. 3. Фрагмент програмного коду розробленого віртуального аудіометра

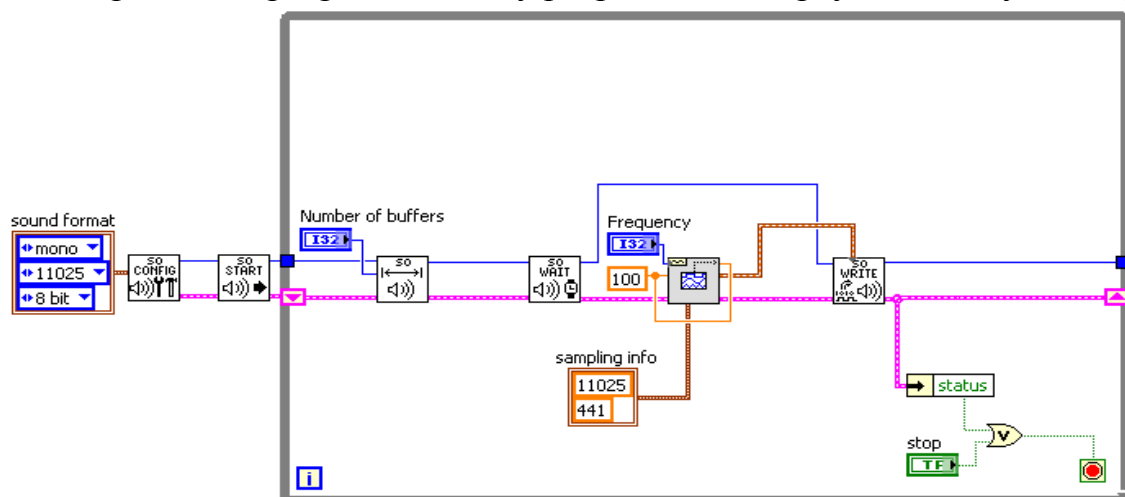


Рис. 4. Генератор звукового сигналу

Результати

Розроблений віртуальний аудіометр представляє собою програмний продукт який дозволяє перевіряти функціональний стан слухового апарату людини шляхом визначення порогів чутності. Інтерфейс користувача ВА зображений на рис. 6 - 8. Прилад складається з 3-х модулів: вікно «Дані пацієнта» (рис. 6), вікно

«Виміри» (рис. 7) та вікно «Аудіограма» (рис. 8). Звіт про результати обстеження зберігається в табличному форматі *.xls (рис. 9).

Рис. 6. Інтерфейс користувача віртуального аудіометра (вікно «Дані пацієнта»)

Рис. 7. Інтерфейс користувача віртуального аудіометра (вікно «Виміри»)

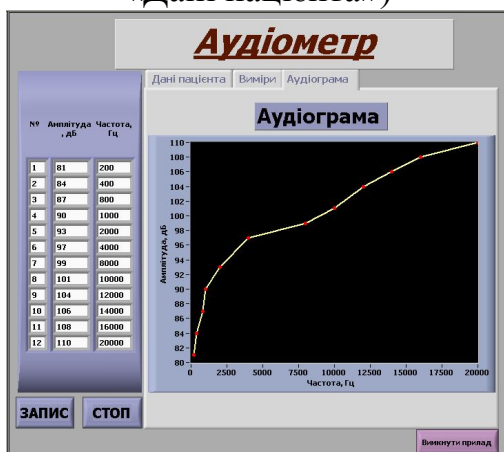


Рис. 8. Інтерфейс користувача віртуального аудіометра (вікно «Аудіограма»)

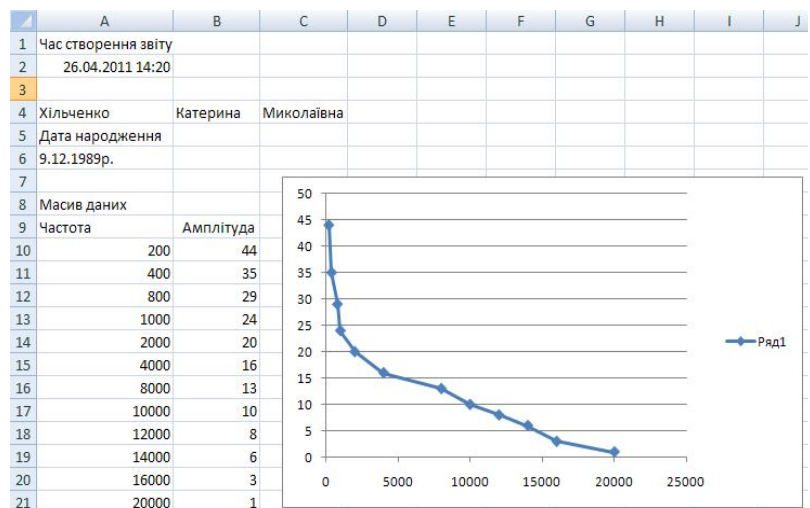


Рис. 9. Звіт про результати обстеження

Роботу віртуального аудіометра було протестовано при нормі та патології. На рис. 10 зображено результат роботи програми та файл-протокол обстеження в нормі, де пацієнт добре сприймає звук на всіх частотах.

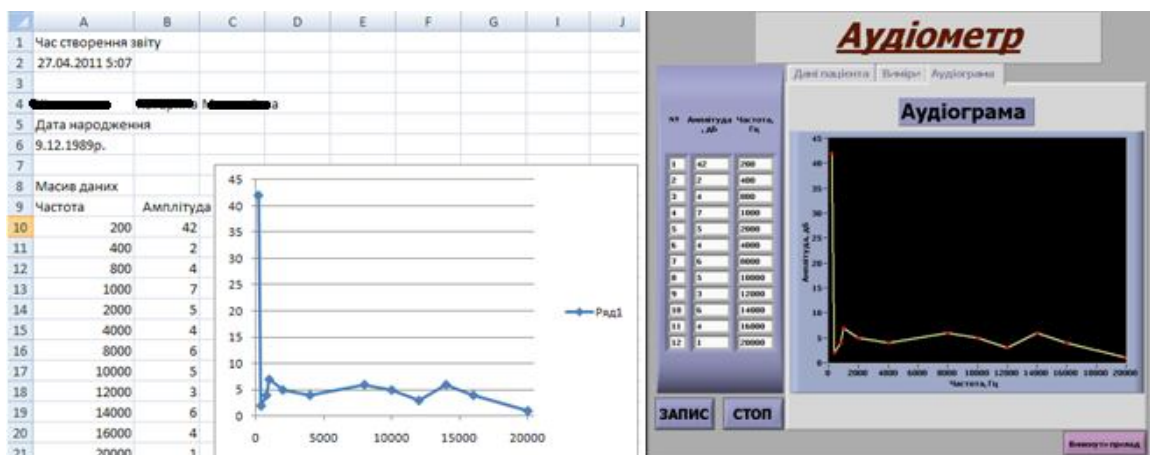


Рис. 10. Аудіограма пацієнта з нормальним слухом

На рис. 11 представлено результати обстеження пацієнта, який погано сприймає низькі частоти. На рис. 12 - результати обстеження пацієнта, який погано сприймає високі частоти. Така аудіограма характерна для людей літнього віку, адже з віком людина гірше сприймає звуки на високих частотах.

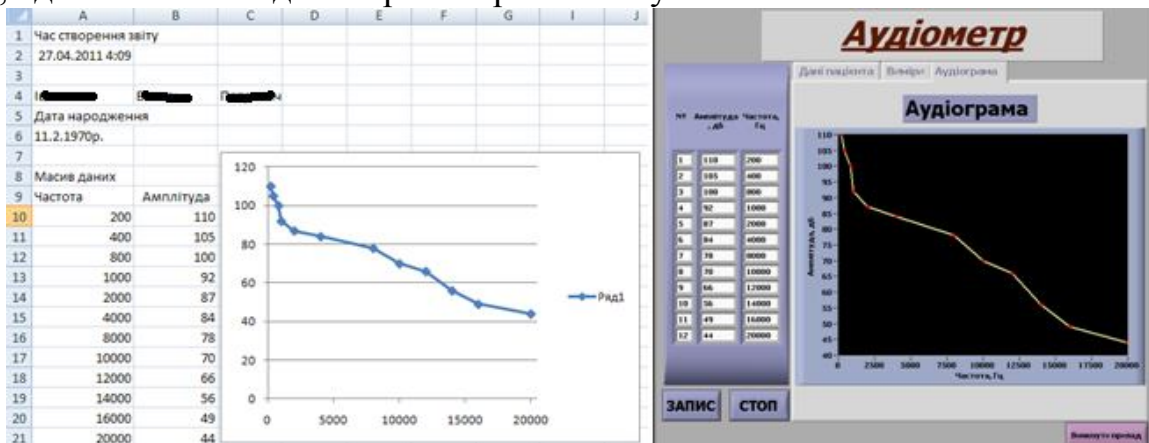


Рис. 11. Аудіограма пацієнта з поганим слухом (погане сприйняття низьких частот)

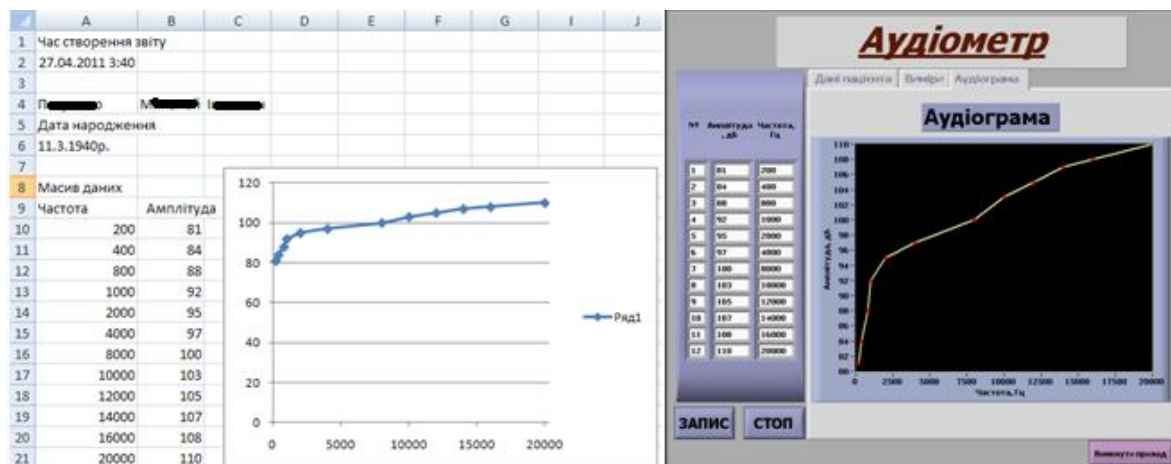


Рис. 12. Аудіограма пацієнта з поганим слухом (погане сприйняття високих частот)

Висновки

Розробка віртуальних приладів медичного призначення є актуальним і необхідним завданням у сучасному суспільстві. Прилади, які дозволяють проводити початкову діагностику в домашніх умовах, можуть значно підвищити рівень життя населення та допомогти вчасно діагностувати фізіологічні зміни в певних органах і тканинах, що, згодом, може запобігти розвитку багатьох захворювань, зокрема, органів слуху. Розвиток сучасних засобів розробки програмного забезпечення (віртуальних приладів) та технологій об'єктно-орієнтованого програмування дозволяє розробляти системи збору та обробки біомедичних даних при мінімальних часових затратах.

Список літератури: 1. Кисельова О.Г. Можливості використання NI LabVIEW для обробки мовних сигналів в цифрових слухових апаратах / Кисельова О.Г., Максименко В.Б., Сичик М.М. - Матеріали III міжнародної конференції «Актуальні проблеми біомедичної інженерії, інформатики, кібернетики і телемедицини» / НТУУ «КПІ», м. Київ, 11 – 13 березня 2010 р. С. 115- 118. 2. Кисельова О.Г. Досвід використання середовища розробки віртуальних приладів NI LabVIEW в навчальному процесі / Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної

конференції «Комп'ютерні технології: наука і освіта» / м. Івано-Франківськ, 29.09-3.10.2010 р. С. 102-104.3. Кисельова О.Г. Розробка віртуальних лабораторій у навчальному процесі медико-інженерних спеціальностей / Сбірник праць 6-ї міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій РТ-2010» / м. Севастополь, квітень 2010. С. 503.

Поступила в редколлегию 13.05.2011

УДК 656.025:510.223

О. В. ЛАВРУХІН, канд. техн. наук, доц., УкрДАЗТ, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ПРІОРИТЕТНОГО ВІДПРАВЛЕННЯ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ

Сформовано функції приналежності технологічних параметрів цільової функції щодо визначення пріоритетності відправлення поїздів з залізничних станцій

Ключові слова: Обіг вантажного вагону, елементи обігу

Сформированы функции принадлежности технологических параметров целевой функции для определения приоритетности отправления поездов с железнодорожных станций

Ключевые слова:оборот грузового вагона, элементы оборота

Shaped membership function of technological parameters of the objective function to prioritize the administration of trains on railway stations

Key words: turnover of freight cars, circulation elements, delivery time, movement distance, target function.

Вступ

Однією з основних задач залізничного транспорту є підвищення рентабельності галузі. Сучасні умови вимагають вирішення таких питань як раціональне використання одиниць транспорту, зменшення експлуатаційних витрат, підвищення якості надання послуг клієнтам транспорту. Зазначенні питання повинні вирішуватися як з економічного так і технологічного боку. Відповідно до цього слід зауважити, що на даний час грошові надходження є невід'ємною частиною дотримання показників технічного нормування, які не завжди відповідають економічно-доцільному варіанту виконання експлуатаційної роботи.

Актуальність роботи

Згідно зазначеного можливо зробити висновок, що дослідження в галузі удосконалення технології експлуатаційної роботи, які спрямовані на пошук методів синтезу економічних і технологічних параметрів функціонування залізничного транспорту на даний час є актуальними.

Відповідно до цього в роботі [1] було сформовано цільову функцію пріоритетного відправлення вантажних поїздів зі станції, яка надає можливість досягти оптимального значення обігу вантажного вагону з економічної точки зору за рахунок визначення оптимального співвідношення його елементів. В зазначеній роботі підкреслюється той факт, що в даному випадку мова йде не про оптимізацію значення обігу кожного конкретного вагону, а про досягнення

оптимальних значень для цілого составу або значної його групи, яку прийнято називати ядром. Визначений підхід надає можливості оптимізувати розрахунки шляхом узагальнення вхідних параметрів по кожному вагону.

Мета роботи

Метою даної наукової роботи є формальне визначення параметрів цільової функції p_3 (відстань прямування поїзду), p_4 (час на виконання вантажних операцій з вагонами в даному поїзді) та p_5 (час на переробку поїздів різних категорій на попутних технічних станціях), які в даному випадку мають безпосередній вплив на величину обігу вантажного вагону.

Формування моделі

Оскільки в подальшому необхідним буде здійснювати узагальнення значень визначених параметрів, які в свою чергу відрізняються фізичним сенсом і до того ж в оперативних умовах вони постійно змінюються то в даному випадку вирішення поставленої задачі може бути здійснено на основі застосування нечіткої логіки шляхом представлення зазначених параметрів у вигляді набору функцій приналежності, які будуть характеризувати вплив певних ознак на величину обігу вантажного вагону.

Визначення параметрів функцій приналежності $\mu_{\alpha_u^{vp}}$, які описують p_3 ґрунтується на тому, що ця величина складає певний відсоток від загальної величини обігу вантажного вагону. Згідно з цим доцільно перейти від конкретних значень цього показника до відсоткових. Мінімальне значення цієї величини у відсотках буде відповідати положенню, яке визначає її середні значення в межах 20 % від загальної величини обігу вагону [2]. Відповідно до цього доцільно обрати наступний інтервал по вісі абсцис [10,100].

Терм-множину $\mu_{\alpha_u^{vp}}$ параметру p_3 визначено в такий вигляд

$$\langle \tilde{\alpha}_u^{vp}, T_3^{vp}, P_3 \rangle \rightarrow \langle \text{"відстань прямування"}, T_3^{vp}, [p_3^{\min}, p_3^{\max}] \rangle, \quad (1)$$

де $T_3^{vp} = \{ \text{"мінімальна"}, \text{"максимальна"} \}$

$p_3^{\min}, p_3^{\max}$ - відповідно мінімальне і максимальне значення базової множини $P_3 = \{p_3\}$, яка характеризує відстань прямування певного поїзду від станції відправлення до станції призначення або розпилення.

$$\tilde{\alpha}_u^{vp} = \left\langle \mu_{\alpha_u^{vp}}(p_3) / (p_3) \right\rangle, (p_3 \in P_3). \quad (2)$$

Значення лінгвістичної змінної "відстань прямування" з терм-множини T_3^{vp} описується нечіткими змінними з відповідними назвами і обмеженнями на можливі значення. Значення терм-множини T_3^{vp} відповідає наступному набору нечітких змінних

$$\begin{aligned} \langle \text{"мінімальна"}, [p_3^{\min}, p_3^{\max}] \tilde{\alpha}_1^{vp} \rangle, & \quad \langle \text{"мінімальна"}, [100, 10] \tilde{\alpha}_1^{vp} \rangle, \\ \langle \text{"максимальна"}, [p_3^{\min}, p_3^{\max}] \tilde{\alpha}_2^{vp} \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"максимальна"}, [10, 100] \tilde{\alpha}_2^{vp} \rangle. \end{aligned} \quad (3)$$

Відповідно визначених параметрів (1)-(3) функції приналежності $\mu_{\alpha_u^{vp}}$ доцільно відтворити їх графічний вигляд (рис.1).

Функція приналежності $\mu_{\alpha_1^{vp}}$ описує параметр p_3 з точки зору відхилення від мінімального відсоткового значення відстані прямування (знаходження вагонів в

чистому русі), а функція $\mu_{\alpha_2^{vp}}$ з точки зору відхилення від максимального відсоткового значення відстані прямування.

Для визначення параметрів функцій приналежності $\mu_{\alpha_i^{vp}}$, які описують параметр p_4 доцільно, як і у випадку з p_4 , перейти до відсоткових значень. Це пов'язано з тим, що дана величина є також складовою загального обігу вантажного вагону. Мінімальне значення цієї величини у відсотках буде відповідати положенню, яке визначає її середні значення в межах 30-40 % від загальної величини обігу вагону [2].

Відповідно до цього доцільно визначити мінімальні значення в межах 20%, а інтервал по вісі абсцис [20,100]. Врахування впливу величини κ_M буде відбуватися шляхом ділення на неї визначеного відсотку виконання вантажних операцій від обігу $p_{виз}$, тобто

$$p_0 = \frac{p_{виз}}{\kappa_M}, \quad (4)$$

де p_0 - отримане відкориговане значення (з урахуванням коефіцієнту подвійних операцій) відсотку на виконання вантажних операцій.

На даному етапі стає можливим визначити терм-множину параметру p_4 .

$$\langle \tilde{\alpha}_o^{hw}, T_4^{hw}, P_4 \rangle \rightarrow \langle \text{"час на ВО"}, T_4^{kw}, [p_4^{\min}, p_4^{\max}] \rangle, \quad (5)$$

де $T_4^{kw} = \{\text{"мінімальний"}, \text{"максимальний"}\}$

$p_4^{\min}, p_4^{\max}$ - відповідно мінімальне і максимальне значення базової множини $P_4 = \{p_4\}$, яка характеризує відсоток часу знаходження вантажного вагону під вантажними операціями від загального обігу.

Умова (5) дозволяє визначити нечітку змінну в наступному вигляді

$$\tilde{\alpha}_o^{hw} = \left\{ \mu_{\alpha_o^{hw}}(p_4)/(p_4) \right\} (p_4 \in P_4). \quad (6)$$

Значення терм-множини T_4^{kw} відповідає наступному набору нечітких змінних

$$\begin{aligned} \langle \text{"мінімальний"}, [p_4^{\min}, p_4^{\max}], \tilde{\alpha}_1^{kw} \rangle, & \quad \langle \text{"мінімальний"}, [100, 20], \tilde{\alpha}_1^{kw} \rangle, \\ \langle \text{"максимальний"}, [p_4^{\min}, p_4^{\max}], \tilde{\alpha}_2^{kw} \rangle. & \Rightarrow \langle \text{"максимальний"}, [20, 100], \tilde{\alpha}_3^{kw} \rangle. \end{aligned} \quad (7)$$

Відповідно визначених параметрів (4)-(7) функції приналежності $\mu_{\alpha_o^{hw}}$ отримано рис.2

Функція приналежності $\mu_{\alpha_1^{vp}}$ описує параметр p_4 з точки зору відхилення від мінімального відсоткового значення часу на виконання вантажних операцій з урахуванням величини κ_M , а функція $\mu_{\alpha_2^{vp}}$ з точки зору відхилення від максимального відсоткового значення часу на вантажні операції.

Останнім буде визначено параметр p_5 , який відбиває значення часу переробки вагонів на попутних технічних станціях (транзит з переробкою та без переробки).

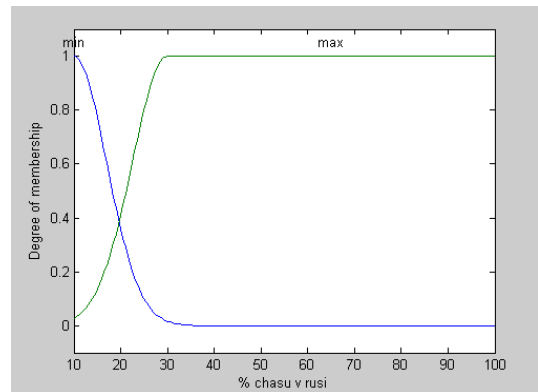


Рис.1. Графічна інтерпретація функцій приналежності $\mu_{\alpha_i^{vp}}$

Специфіка організації та просування вагонопотоків певним чином ускладнює можливість розрахунку деяких параметрів та використання їх для оптимізації виконання нормативних показників. До таких параметрів можливо віднести p_5 оскільки в одному поїзді можуть знаходитися вагони різних напрямків час на переробку яких може відрізнятися один від одного. Відповідно до цього раніше було зазначено, що розрахунки доцільно виконувати спираючись на ядро поїзду.

Для визначення параметру доцільно розглянути його як елемент обігу вантажного вагону, тобто

$$p_5 = \frac{l_o}{L_{mex}} t_{mex} = \kappa_{mex} t_{mex}, \quad (8)$$

де κ_{mex} - кількість технічних станцій на шляху прямування поїзду (визначається згідно діючого плану формування поїздів).

Щоб оцінити вплив даного параметру на економічну складову обігу вантажного вагону необхідно як і у попередніх випадках визначити основні параметри, які відбивають їх основні характеристики та зовнішній вигляд. Як і у випадку визначення p_5 і p_4 для визначення параметрів, функцій приналежності доцільно перейти до відсоткових значень. Згідно [2, 3] в середньому на простій вагонів на технічних станціях від загального обігу приходить від 30 до 40 відсотків часу. З цього інтервалу буде виходити мінімальне значення цієї величини.

Відповідно зазначеного стає можливим визначити терм-множину параметру p_5

$$\langle \tilde{\alpha}_a^{hp}, T_5^{hp}, P_5 \rangle \rightarrow \langle \text{"простій на ТС"}, T_5^{hp}, [p_5^{\min}, p_5^{\max}] \rangle, \quad (9)$$

де $T_5^{hp} = \{ \text{"мінімальний"}, \text{"максимальний"} \}$

$p_5^{\min}, p_5^{\max}$ - відповідно мінімальне і максимальне значення базової множини $P_5 = \{p_5\}$, яка характеризує відсоток часу знаходження вантажного вагону на технічних станціях від загального обігу.

Умова (9) дозволяє визначити нечітку змінну в наступному вигляді

$$\tilde{\alpha}_a^{hp} = \left\{ \mu_{\alpha_a^{hp}}(p_5) / (p_5) \right\} (p_5 \in P_5). \quad (10)$$

Значення терм-множини T_5^{hp} відповідає наступному набору нечітких змінних

$$\begin{aligned} \langle \text{"мінімальний"}, [p_5^{\min}, p_5^{\max}], \tilde{\alpha}_1^{hp} \rangle, & \quad \langle \text{"мінімальний"}, [100, 20], \tilde{\alpha}_1^{hp} \rangle, \\ \langle \text{"максимальний"}, [p_5^{\min}, p_5^{\max}], \tilde{\alpha}_2^{hp} \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"максимальний"}, [20, 100], \tilde{\alpha}_2^{hp} \rangle. \end{aligned} \quad (11)$$

Відповідно визначених параметрів (9)-(11) функції приналежності $\mu_{\alpha_a^{hp}}$ отримано рис. 3. Функція приналежності $\mu_{\alpha_1^{hp}}$ описує параметр p_5 з точки зору відхилення від мінімального відсоткового значення загального часу простою на

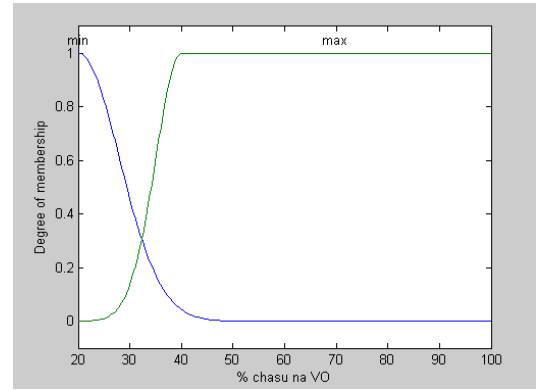


Рис. 2. Графічна інтерпретація функцій приналежності $\mu_{\alpha_a^{hp}}$.

технічних станціях, а функція $\mu_{\alpha_1^{hp}}$ з точки зору відхилення від максимального відсоткового значення загального часу простою на технічних станціях.

Слід зазначити, що при формуванні моделі визначення пріоритетності у відправленні поїздів необхідно закласти умову, яка забезпечить 100 відсоткове значення обігу вантажного вагону при додаванні параметрів p_3, p_4, p_5 , тобто

$$O_e = p_3 + p_4 + p_5 = 100\%. \quad (12)$$

Таким чином було визначено основні параметри впливу на економічну складову обігу вантажного вагону (p_3, p_4, p_5) та сформовані відповідні функції приналежності, які адекватно їх описують.

Після того як було визначено основні параметри стає можливим отримати конкретне значення пріоритетів щодо черговості відправлення поїздів зі станцій шляхом формування нечітких правил.

Висновки

Таким чином в даній науковій роботі було сформовано функції приналежності $\mu_{\alpha_u^{vp}}$, $\mu_{\alpha_u^{hp}}$ та $\mu_{\alpha_a^{hp}}$ параметрів p_3 , p_4 і p_5 . Сформований комплекс функцій приналежності надасть можливість в оперативних умовах визначати пріоритетність відправлення поїздів з розмежувальних пунктів в залежності від відстані прямуювання певного поїзду, часу на виконання вантажних операцій з вагонами в даному поїзді, та часу на переробку поїздів різних категорій на попутних технічних станціях. Остаточне формування моделі раціонального просування поїздів по дільницях ґрунтується на визначенні параметрів, які оказують вплив на економічну доцільність перевізного процесу, а саме термін доставки вантажів та кількість вагонів з простроченим терміном в складі поїзда.

Список літератури: 1. Лаврухін О.В. Визначення цільової функції пріоритетного відправлення вантажних поїздів зі станцій / О.В. Лаврухін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011. - Вип. № 2/10 (50). – С. 20-22. 2. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / Под ред. Грунтова П.С. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с. 3. Сотников Е.А. Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы) / Сотников Е.А. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.

Поступила в редколлегию 15.05.2011

УДК 004:681.5

А.Н. ОДЕЙЧУК, мнс, ННЦ ХФТИ, Харків

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ С ОЦЕНКОЙ РИСКА НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

У роботі виконаний аналіз існуючих інформаційних технологій прогнозування часових рядів в інформаційних системах. Показано їхні недоліки. Дано визначення «ризик прогнозу».

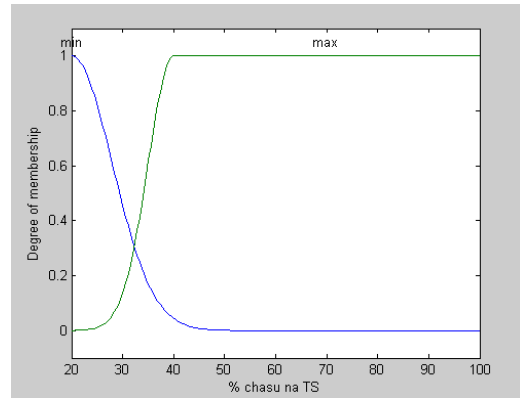


Рис. 3. Графічна інтерпретація функцій приналежності $\mu_{\alpha_a^{hp}}$.

Розроблено інформаційну технологію прогнозування з оцінкою ризику нестационарних часових рядів.

Ключові слова: інформаційна технологія, прогнозування, часові ряди, оцінка ризику прогнозу.

В работе выполнен анализ существующих информационных технологий прогнозирования временных рядов в информационных системах. Показаны их недостатки. Дано определение «риск прогноза». Разработана информационная технология прогнозирования с оценкой риска нестационарных временных рядов.

Ключевые слова: информационная технология, прогнозирование, временные ряды, оценка риска прогноза.

The paper contains the analysis of existing information technologies for forecasting time series in information systems. The disadvantages of such information technologies have been reported. The definition of the term "forecast risk" has been given. The information technology to forecast non-stationary time series with risk assessment has been developed.

Keywords: information technology, forecasting, time series, forecast risk assessment

Введение. Постановка задачи в общем виде

В последнее десятилетие наблюдается стремительный рост количества публикаций, посвященных сервис-ориентированной архитектуре (СОА) построения информационных управляющих систем (ИУС) [1 – 7], ставшей новым этапом развития клиент-серверной архитектуры. На сегодняшний день крупнейшие мировые разработчики программного обеспечения, такие, как IBM, Microsoft, Oracle, Intel, JBoss, TIBCO, Diasoft и др. для популяризации и поддержки жизненного цикла создания информационных систем на основе СОА предлагают разнообразные платформы [1, 3, 4].

СОА предполагает модульное построение ИУС с помощью сервисов (служб), имеющих стандартизированные интерфейсы обмена данными [1 – 6]. Сервис представляет собой законченный объект, который выполняет отдельно взятую задачу при его вызове и имеет возможность принимать, обрабатывать и возвращать информацию [1, 2]. Каждый из сервисов является самодостаточным и не зависит от контекста или состояния других сервисов.

Также данная архитектура дала возможность разработчикам программного обеспечения выполнять интегрирование различных ИС за счет использования стандартизированных интерфейсов обмена данными и моделями [5 – 6] и, как следствие, обеспечила новый виток развития систем поддержки принятия решений (СППР), которые особенно востребованы при решении задач, связанных с прогнозированием нестационарных временных рядов [8 – 10]. Такими задачами в настоящее время являются принятие решений по выбору сплавов при создании сложных технологических конструкций и агрегатов в атомной и авиационной промышленности [11], поддержка управленческих решений на гидросооружениях [8], а также поддержка принятия решений сотрудниками банков при обслуживании корпоративных клиентов и т.п. [12]. В каждой из вышеприведенных задач решения принимаются по результатам прогнозирования нестационарных временных рядов (НВР), в виде которых представляются анализируемые технико-экономические показатели. Последствия выбранного решения напрямую зависят от точности полученного прогноза.

Существующие решения обычно основываются на достаточно частных моделях, адекватных только в течение определенного периода времени. Однако реальные процессы характеризуются нестационарностью, в связи с чем возникает необходимость постоянно выполнять адаптацию моделей к новым тенденциям, что приводит к многократному решению задачи разработки модели прогнозирования.

Кроме того, необходимым условием надежности прогнозирования временных рядов с использованием статистических моделей является сохранение в прогнозируемом периоде тех статистических свойств и закономерностей временного ряда, которые привели к построению именно той модели, на основании которой выполняется прогноз. В том случае, когда в прогнозируемом периоде имеют место изменения свойств наблюдаемого временного ряда, происходящие в заранее неизвестный момент времени под воздействием гетероскедастичности, причем столь кардинальные, что требуют не только выполнения переоценки параметров модели, но и изменения ее вида, возникает необходимость в оценке риска прогноза построенного по такой модели. Это позволит заблаговременно приступить либо к разработке новой модели прогнозирования, либо к адаптации существующей модели.

Таким образом, построение информационной технологии прогнозирования с оценкой риска нестационарных временных рядов (ИТПОР НВР) в ИУС, позволяющей производить автоматическое построение высокоточных моделей прогнозирования и оценивать риск прогноза в целях повышения эффективности принятия решений в СППР, является, несомненно, актуальной задачей.

Обзор и анализ элементов существующих информационных технологий прогнозирования временных рядов в ИУС

В соответствии с ГОСТ 34.003-90 [13] информационная технология (ИТ) является совокупностью приемов, способов и методов применения средств вычислительной техники при выполнении функций сбора, хранения, обработки, передачи и использования данных.

В настоящее время ИТ прогнозирования временных рядов разработана фрагментарно. В литературе [14 – 22] внимание авторов сконцентрировано на отдельных ее элементах: сбор данных, первичная обработка данных, хранение, анализ и т.д. Кроме того, следует отметить, что среди исследователей нет единого мнения о последовательности проведения анализа временного ряда и построения его модели прогнозирования. В частности Дж. Ханк в работе [14] приводит следующую последовательность этапов:

Этап 1. Сбор данных – получение корректных данных и обязательная проверка их достоверности;

Этап 2. Редукция или уплотнение данных – определение из собранных данных, необходимых для осуществления прогнозирования;

Этап 3. Построение модели и ее оценка – подбор модели прогнозирования, наиболее соответствующей особенностям собранных данных в смысле минимизации ошибки прогноза;

Этап 4. Экстраполяция выбранной модели (фактический прогноз);

Этап 5. Оценка полученного прогноза – сравнение прогноза с наблюдаемыми значениями.

Кичор В.П. в работе [15] сосредотачивает также внимание на шагах, которые необходимо выполнить до проведения сбора данных и непосредственного построения моделей прогнозирования, и приводит следующую последовательность этапов:

Этап 1. Постановка проблемы – уточняется объект прогнозирования, формулируются цель и задачи прогнозирования, определяется точность и горизонт прогнозирования;

Этап 2. Формирование объекта прогноза в соответствии с поставленной задачей – определяется структура объекта, существенные переменные, устанавливается их соподчиненность и взаимосвязанность;

Этап 3. Сбор ретроспективной и текущей информации – определяются источники информации, разрабатывается методика отображения и переработки информации;

Этап 4. Формализация задачи – разрабатывается методика формализованного отображения информации, осуществляется формализация описания объекта прогнозирования и самого прогноза;

Этап 5. Выбор методов прогнозирования и разработка алгоритмов – производится выбор метода, наиболее пригодного для прогнозирования, разрабатывается алгоритм и оценивается его точность;

Этап 6. Пробное моделирование на ретроспективных данных – проверяется практическая пригодность метода на основании данных предыдущего периода развития системы;

Этап 7. Составление прогноза – формирование системы количественных и качественных индикаторов;

Этап 8. Использование результатов прогнозирования – результаты прогнозирования используются в соответствии с поставленной задачей, вносятся поправки, принимаются решения.

Значительно более строгая последовательность этапов ИТ прогнозирования представлена в аналитическом справочнике, составленном научным коллективом в составе Айвазяна С.А., Балкинда О.Я., Басниной Т.Д. и др. [16]:

Этап 1. Постановочный – определение конечных прикладных целей прогнозирования, набора входных и выходных переменных, взаимосвязь между которыми необходимо определить;

Этап 2. Априорный, предмодельный – формирование гипотез и допущений об изучаемом процессе;

Этап 3. Информационно-статистический – сбор необходимой статистической информации;

Этап 4. Спецификация модели – определение общего вида модели (ее структуры, представляемой в виде символической аналитической записи, в которой наряду с известными числовыми значениями присутствуют параметры, числовое значение которых пока не определено) с учетом выдвинутых гипотез и предположений;

Этап 5. Исследование идентифицируемости и идентификация модели – определение возможности нахождения неизвестных параметров модели по имеющимся исходным статистическим данным и их расчет на основании предложенных процедур оценивания. В случае необходимости производится возврат к четвертому этапу;

Этап 6. Верификация модели (статистического анализа точности и адекватности модели) – использование различных процедур сопоставления модельных заключений, оценок, следствий и выводов с действительностью.

Для целостного восприятия существующей ИТ прогнозирования НБР следует обратиться к многофункциональным статистическим пакетам анализа данных, среди которых наибольшее распространение получили SPSS, SAS, Statistica, STATGRAPHICS, STADIA [17, 18]. Данные программы практически идентичны по своим возможностям.

Пакет прикладных программ (ППП) Statistica 8 (Data Mining), в отличие от других статистических пакетов, имеет возможность визуально настраивать технологическую цепочку действий проведения исследований [19]. Основными этапами анализа данных являются: загрузка данных; подготовка данных, очистка, преобразование; анализ данных, моделирование, классификация, прогнозирование; получение результатов в заданном виде.

На каждом этапе возможна настройка и реализация некоторой последовательности действий для проведения вычислений, построенных при помощи моделей и методов, представленных в данном программном продукте. В других пакетах пользователь опирается исключительно на свой опыт и знания, когда последовательно выполняет необходимые действия для решения прикладной задачи. При этом его действия также могут быть описаны в рамках четырех этапов анализа данных, визуализированных в ППП Statistica.

Как отмечает Орлов А.И. в работе [18], одним из недостатков рассмотренных выше многофункциональных систем анализа данных является отсутствие в них современных алгоритмов, моделей и методов, разработанных за последние 30 лет. Возможной причиной такого положения дел может являться закрытость производителями интерфейсов расширений программы (модулей), что не позволяет сторонним производителям усовершенствовать приложение.

Кроме того, в данных статистических пакетах в рамках реализованной ИТ отсутствует этап контроля качества получаемой модели прогнозирования и не предусмотрена возможность выполнения автоматического выбора наиболее адекватного метода и модели прогнозирования временного ряда – функция такого выбора возложена на пользователя. Также в рассматриваемых ИТ не учитывается то обстоятельство, что реальные данные могут быть подвержены изменениям их статистических свойств, что, в свою очередь, приводит к необходимости выполнения оценки риска прогноза.

Под риском прогноза (РП) будем понимать вероятность понести потери пользователем ИУС вследствие принятия неверного решения, основанного на прогнозе, выполненном с помощью модели прогнозирования, параметры или структура которой могли перестать соответствовать анализируемому временному ряду.

Структура модели прогнозирования временного ряда представляет собой символическую аналитическую запись, определяющую набор операций и отношений над известными числовыми значениями (представленными, в основном, исходными статистическими данными – переменными), а также над величинами, содержательный смысл которых определен, а числовые значения – нет (в литературе обычно именуемые параметрами модели, неизвестные значения которых подлежат статистическому оцениванию) [16].

Таким образом, представляется достаточно актуальным усовершенствовать существующую ИТ прогнозирования, частично реализованную в многофункциональных пакетах статистического анализа. Реализация и внедрение данной технологии позволит повысить точность прогноза, оценить его риск, а также даст возможность автоматизировать процесс разработки модели прогнозирования НВР, в виде которого представляется технико-экономическая информация, анализируемая в СППР.

Постановка задачи исследования

Постановку задачи по созданию ИТПОР НВР в ИУС сформулируем следующим образом.

Дана типовая СППР, в состав которой входит сервис прогнозирования (СП) НВР $\{x_j\}_{j=1,...,T}$. Также даны конечное множество методов прогнозирования $F = \{F_1, F_2, ..., F_m\}$, множество диапазонов допустимых значений статистических характеристик S , которым должен удовлетворять анализируемый временной ряд для обработки методами F , горизонт прогноза t .

Необходимо разработать комплекс методов и информационную технологию, позволяющих обеспечить построение прогнозов с заданной точностью и учитывающих уровень риска прогноза НВР, в виде которых представляется технико-экономическая информация, анализируемая с помощью СП в СППР:

$$\begin{aligned} & \text{СППР МСП, СП(ИТПОР НВР}(\{x_j\}_{j=1,...,T}, F, S, t, l)) \otimes \{\hat{x}_j\}_{j=1,...,T}, \\ & \text{ИТПОР НВР: ПСПД} \otimes \{x_j\}_{j=1,...,T} \otimes \text{МРС}(\{x_j\}_{j=1,...,T}) \otimes \{f_{i,j}\}_{i=1,...,w}^{j=1,...,T} \otimes \\ & \otimes s_i \circ S \otimes \text{МСМП}(F, S, \{f_{i,j}\}_{i=1,...,w}^{j=1,...,T}, s_i) \otimes \text{РМП} \text{ssss} \otimes \\ & \text{ssss} \otimes \frac{\mathbb{M}}{\mathbb{H}} \{ \hat{x}_j \}_{j=T+1,...,T+t} \\ & \otimes \text{МОРИ}(\{e_j\}_{j=1,...,T}, t) \otimes \{\hat{e}_j\}_{j=T+1,...,T+t}, r(\{\hat{x}_j\}_{j=1,...,T}, \{x_j\}_{j=1,...,T}) J d, \end{aligned}$$

где $\{\hat{x}_j\}_{j=T+1,...,T+t}$ – прогнозные оценки НВР $\{x_j\}_{j=1,...,T}$; ПСПД – процедура сбора и первичной обработки данных; МРС – метод разложения временного ряда на составляющие; s_i – значения статистических характеристик составляющих НВР, которые формируют их статистическое описание; МСМП – метод синтеза модели прогнозирования НВР; РМП – результирующая модель прогнозирования НВР; МОРИ – метод оценки риска прогноза; $\{f_{i,j}\}_{i=1,...,w}^{j=1,...,T}$ – частотные составляющие временного ряда $\{x_j\}_{j=1,...,T}$; $\{e_j\}_{j=1,...,T}$ – остатки модели прогнозирования; $\{\hat{e}_j\}_{j=T+1,...,T+t}$ – прогнозные оценки риска прогноза.

Разработка информационной технологии прогнозирования с оценкой риска нестационарных временных рядов в ИУС

В настоящей работе предлагается реализовать ИТПОР НВР следующей последовательностью этапов, описывающих использование методов, моделей,

алгоритмов, программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку и позволяющих обеспечить сбор, хранение, аналитическую обработку (подготовку данных, разработку моделей прогнозирования), вывод (прогнозирование и оценку риска прогноза) технико-экономической информации с целью повышения точности принимаемых решений с использованием СП в СППР.

Этап 1. Постановочный.

На данном этапе выполняется: задание источников технико-экономической информации, анализируемой в ИУС, представляемой в виде НВР, прогнозирование с оценкой риска которой необходимо выполнить; определение горизонта прогноза t ; формирование множества методов прогнозирования F ; оценка диапазонов допустимых значений статистических характеристик s_k os , которым должен удовлетворять временной ряд для обработки методом прогнозирования $F_k \circ F$; выбор продолжительности периода наблюдения T входной переменной и частоты съема данных; определение системы мер, в которой должна измеряться выходная переменная, а также потери от неверного принятого решения.

Этап 2. Сбор, первичная обработка и сохранение данных.

Данный этап предполагает выполнение: сбор статистической информации; приведение данных к сопоставимым измерениям; обнаружение и исключение из временного ряда аномальных измерений; формирование структуры хранения данных в хранилище данных; запись данных, прошедших первичную обработку, в хранилище данных.

Реализацию настоящего этапа предложено заимствовать из существующей информационной технологии прогнозирования. Результатом выполнения данного этапа является одномерный временной ряд $\{x_j\}_{j=1,...,T}$.

Этап 3. Разработка модели прогнозирования:

Этап 3.1. Разложение временного ряда на составляющие.

В рамках настоящей ИТ с целью разложения временного ряда на составляющие предложено использовать усовершенствованный автором метод разложения НВР на составляющие с помощью цифровых фильтров (МРС), реализацию которого можем представить следующим образом:

Шаг 1. Проверка гипотезы о наличии во временном ряде тренда и его случайности с помощью метода Фостера-Стьюарта. Если ряд случаен, то закончить расчет, иначе перейти к шагу 2.

Шаг 2. Расчет периодограммы временного ряда и ее нормирование $I_{norm}(v) = I(v)/E(I)$, где $I(v)$ интенсивность периодограммы на частоте v ; $E(I)$ — математическое ожидание.

Шаг 3. Определение максимумов (пиков) периодограммы на основе первого достаточного условия экстремума функции (первая производная функции в точке максимума меняет знак с плюса на минус).

Шаг 4. Расчет значения параметра

$$Q_{T,q} \gg \ln((T-2)/2q), \quad (1)$$

с учетом заранее заданного уровня значимости q выделения пика в периодограмме; T — длина временного ряда.

Шаг 5. Если интенсивность выделенного максимума превосходит (1), и фазовая диаграмма подтверждает истинность пика, то выделенный максимум признается значимым.

Фазовая диаграмма временного ряда $\{x_j\}_{j=1,...,T}$ представляет собой зависимость x_j от f_j , где $f_j = FR(v\varphi(j - t_*))$, $FR(d)$ – дробная часть числа d , v – значение анализируемой частоты, t_* – произвольный выбранный момент времени.

Мера упорядоченности фазовой диаграммы $Q_r(v) = 1 - \frac{1}{(T - q)s^2} \sum_{j=1}^{T-1} (\bar{y}_{j+1} - \bar{y})(\bar{y}_j - \bar{y}) = 1 - r_T$, где s^2 – дисперсия отсчетов на фазовой диаграмме; $\bar{y}$ – среднее значение f_j ; $\bar{y}_k$ – j -я фаза из упорядоченных фаз в порядке возрастания $0 \leq f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_T < 1$, а сама величина r_T является автокорреляцией последовательности отсчетов на фазовой диаграмме. При хаотическом распределении точек $|r_T| \ll 1$ и $Q_r \sim 1$, в противном случае r_T близок к 1 и $Q_r \ll 1$.

Шаг 6. Для каждой частоты, которая соответствует точкам периодограммы, определенным как значимые максимумы, строится полосовой КИХ-фильтр с учетом заранее заданного окна и порядка фильтра. Для крайних точек рассчитывается фильтр низких/высоких частот соответственно.

Шаг 7. Выделение частотных составляющих временного ряда с помощью полученного набора фильтров. Завершение работы.

Разложение временного ряда на составляющие с помощью МРС в формализованном виде может быть представлено с помощью следующего выражения:

$$MPC(\{x_j\}_{j=1,...,T}) = \left\{ \langle \{f_{i,j}\}_{j=1,...,T}, Fr_i \rangle, \dots, \langle \{f_{k,j}\}_{j=1,...,T}, Fr_k \rangle, \langle \{e_j\}_{j=1,...,T} \rangle \right\},$$

где $\{f_{i,j}\}_{j=1,...,T}$ – i -я выделенная частотная составляющая; Fr_i – частота выделенной i -й составляющей; $\{e_j\}_{j=1,...,T}$ – случайная составляющая.

Для определения вклада вновь регистрируемых значений входной переменной (временного ряда) в частотные составляющие выполняется повторное разложение временного ряда. В случае если повторное разложение привело к изменению количественного состава составляющих, либо к значительному изменению частот составляющих так, что их отклонение от предыдущих значений превысило заранее заданное граничное значение, то считается, что в структуре временного ряда произошли существенные изменения, повлекшие за собой изменение определенных ранее закономерностей, вследствие чего признается необходимым выполнить повторное построение результирующей модели прогнозирования.

Этап 3.2. Формирование статистического описания исходных данных.

Рассчитываются значения статистических характеристик, которые позволяют охарактеризовать частотные составляющие, вычисленные на предыдущем шаге, и сопоставить их с методами прогнозирования $F: \{f_{i,j}\}_{i=1,...,k} \otimes S_i, \{e_j\}_{j=1,...,T} \otimes S_{k+1}, SOS$.

В случае, если значения статистических характеристик не принадлежат множеству S , производится возврат к постановочному этапу, выполняется повторное формирование множества методов прогнозирования F и множества диапазонов значений статистических характеристик S , такого что SOS .

В случае выполнения данного этапа с учетом новых данных и возникновения вышеописанной ситуации, производится не только повторное формирование множества методов прогнозирования, но и выполняется построение новой результирующей модели прогнозирования.

Этап 3.3. Разработка моделей прогнозирования составляющих временного ряда и результирующей модели прогнозирования.

Выполняется разработка моделей прогнозирования частотных составляющих (МП) и результирующей модели прогнозирования (РМП), при помощи получившего дальнейшее развитие метода синтеза моделей прогнозирования НВР путем объединения базовых методов прогнозирования с учетом статистических характеристик (МСМП):

$$\begin{aligned} \text{МСМП}(F, \{f_{i,j}\}_{j=1,...,T}, S, s_i) &= \text{МП}_i, \quad i=1,2,...,k, \quad \text{МСМП}(F, \{e_j\}_{j=1,...,T}, S, s_{k+1}) = \text{МП}_{k+1}, \\ \text{РМП} &= e_i \text{МП}_i + \text{МП}_{k+1}. \end{aligned} \quad (2)$$

В основу метода положена операция объединения базовых методов прогнозирования $F_i = R_i M_i$ и $F_j = R_j M_j$, где M – оператор построения модели прогнозирования; R – оператор прогнозирования, который по результатам применения оператора M вычисляет прогноз НВР x^F , вычисляется с учетом порядка их следования: $F_i \circ F_j = R_j M_j + R_i M_i (E - M_j)$, где E – единичный оператор такой что $E\{x_j\}_{j=1,...,T} = \{x_j\}_{j=1,...,T}$.

Реализация метода МСМП может быть представлена следующей последовательностью шагов:

Шаг 1. Устанавливается $i=1$, $J=\mathbb{J}$, $FM=\mathbb{J}$.

Шаг 2. Расчет значений статистических характеристик s_i временного ряда $FM(x^0)$. Формирование множества методов прогнозирования $\mathbb{W}$ из базовых методов прогнозирования, для которых выполняется: $s_i \circ S_j$, $j=1,2,...,m$, $j \in \mathbb{J}$. Если $\mathbb{W}=\mathbb{J}$, то производится завершение работы.

Шаг 3. Для всех $j=1,2,...,m$, $j \in \mathbb{J}$ выполняется объединение $K^j = M_j \circ FM = FM + M_j (E - FM)$ и расчет критерия эффективности $r_j = r((R_j FM + R_j M_j (E - FM)), x^F)$. Для случая, когда $FM=\mathbb{J}$, то $K^j = M_j$ и $r_j = r(R_j M_j, x^F)$. Если выполняется неравенство $r_j \{J, i\}$, то $J=j$, $FM=K^j$ и завершить работу.

Шаг 4. Обновление итоговой модели прогнозирования FM : $J=j$, $FM=K^j$, соответствующей минимальному (максимальному) значению критерия эффективности r_j .

Шаг 5. Увеличение i на единицу. Если $i \in \mathbb{J}$, где h – максимальное количество объединяемых методов прогнозирования, то выполняется переход к шагу 2, иначе производится завершение работы.

Этап 4. Оценка эффективности модели прогнозирования.

Под эффективностью модели прогнозирования понимается набор количественных показателей, описывающих наиболее адекватную и оптимальную по своей структуре модель.

Выполнение данного этапа предложено производить на основе построенного обобщенного критерия эффективности моделей прогнозирования (GCEFM) [20]:

$$GCEFM = \min_{\substack{Z \in \mathcal{Z}}} \{BIC | LBQ < c_m^2, |MPE| \leq 5\} \quad (3)$$

где Z – множество моделей прогнозирования;

c_m^2 – квантиль распределения Хи-квадрат с m степенями свободы;

$BIC = \ln(MSE) + ((r+1) \ln T) / T$ – байесовский информационный критерий, обеспечивающий минимальную ошибку выбора структуры модели и учитывающий сложность модели, где r – количество параметров модели; T – длина временного ряда;

$MSE = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T (x_j - \hat{x}_j)^2$ – среднеквадратическая ошибка, характеризующая

адекватность модели, где x_j – значение временного ряда $\{x_j\}_{j=1,...,T}$ в момент j ; $\hat{x}_j$ – прогноз значения x_j ;

$LBQ = T(T+2) \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2}{T-k}$ – Q-статистика Льюнга-Бокса, позволяющая оценить

автокорреляцию остатков, где m – число проверяемых лагов; автокорреляция k -го порядка, рассчитываемая по формуле $r_k = \frac{1}{(T-k)s^2} \sum_{j=1}^{T-k} (x_j - \bar{x})(x_{j+k} - \bar{x})$, s^2 – дисперсия временного ряда, $\bar{x} = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T x_j$ – среднее $\{x_j\}_{j=1,...,T}$;

$MPE = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T \frac{x_j - \hat{x}_j}{x_j} \cdot 100$ – средняя процентная ошибка, показывающая смещенность

прогноза относительно реальных данных.

В случае необходимости осуществляется возврат к этапу 1 для расширения множества методов прогнозирования и повторного построения результирующей модели прогнозирования на этапе 3.3.

Этап 5. Составление прогноза.

Прогнозирование временного ряда, прошедшего первичную обработку на этапе 2 и разложенного на частотные составляющие, выполняется на t шагов вперед с помощью результирующей модели прогнозирования:

$$\begin{aligned} РМП(\{f_{i,j}\}_{i=1,...,k}, \{e_j\}_{j=1,...,T}) = \\ = МП_1(\{f_{1,j}\}_{j=1,...,T}) + МП_2(\{f_{2,j}\}_{j=1,...,T}) + \dots + МП_k(\{f_{k,j}\}_{j=1,...,T}) + \\ + МП_{k+1}(\{e_j\}_{j=1,...,T}) = \sum_{i=1}^k \{\hat{f}_{i,j}\}_{j=T+1,...,T+t} + \{\hat{e}_j\}_{j=T+1,...,T+t} = \{\hat{x}_j\}_{j=T+1,...,T+t} \end{aligned}$$

Получение прогнозных оценок по новым данным временного ряда предусматривает последовательное выполнение этапа 2, 3.1, 3.2, а затем выполнение непосредственного расчета прогноза на основании РМП (2).

Этап 6. Оценка риска прогноза нестационарного временного ряда.

В основу данного этапа положено использование разработанный в работе [21] метода оценки риска прогноза НВР в ИУС: $МОРП(\{e_j\}_{j=1,...,T}) = \{r_j\}_{j=T+1,...,T+t}$, где $\{e_j\}_{j=1,...,T}$ – остатки РМП; $\{r_j\}_{j=T+1,...,T+t}$ – ожидаемые оценки риска прогноза.

Реализация метода МОРП может быть представлена следующей последовательностью шагов:

Шаг 1. Проверка гипотез о нестационарности (гетероскедастичности) остатков модели прогнозирования с использованием теста Энгла. В случае подтверждения нулевой гипотезы о наличии нестационарности в остатках производится переход к шагу 2, в противном случае предполагается, что уровень

риска прогноза является пренебрежимо малым и последующие шаги данного метода не выполняются;

Шаг 2. Расчет текущей волатильности остатков результирующей модели прогнозирования путем выполнения фильтрации НВР с использованием парадигмы Донахо-Джонстона, обратного биортогонального вейвлета порядка 1.1 при первом уровне разложения ряда и функцией шумоподавления Видаковича.

Шаг 3. Расчет статистических характеристик: спектр, АКФ и ЧАКФ волатильности;

Шаг 4. Определение структуры возможных моделей риска прогноза (МРП) выражаемого через волатильность НВР с помощью разработанного набора дискриминантных функций и дерева решений [21].

Шаг 5. Определение параметров МРП по методу максимального правдоподобия;

Шаг 6. Определение с помощью GCEFM (3) окончательной структуры модели.

Шаг 7. Прогнозирование волатильности с помощью разработанной МРП.

Шаг 8. Нормирование прогноза волатильности остатков по шкале рыночной волатильности (MVS) [22] и выполнение оценки риска прогноза НВР выполненного на основании РМП и величины потерь пользователя ИУС используя табл., обобщающую различные дифференциации оценок риска, предложенные в работах [23, 24].

Таблица. Оценки риска

Обобщенная дифференциация	Конкретизация степени риска	MVS	Вероятность понести потери пользователем ИУС, %	Качественная интерпретация величины потерь пользователя ИУС
Низкие	Безрисковая область	0-0,5	0	Отсутствие потерь
	Минимальный	0,5-2	0 – 10	Низкие потери
	Оптимальный	2-3	10 – 25	
Умеренные	Допустимый	3-4	25 – 30	Средние потери
	Средний	4-6	30 – 50	Значительные потери
Полные	Максимальный	6-8	50 – 70	
	Критический	8-11	70 – 90	Крупные потери
	Катастрофический	11-12	90 – 100	Особо крупные потери

Этап 7. Передача модели прогнозирования.

Пользователю ИТ передается разработанная РМП анализируемой технико-экономической информации, представленной в виде НВР, его прогноз и оценка риска прогноза.

Апробация предложенной информационной технологии выполнена в работе [11].

Выводы

Обзор существующих ИТ прогнозирования НВР, разработанных Айвазяном С.А., Балкиным О.Я., Басниной Т.Д., Кичором В.П., Дж. Ханком и др., а также реализованных в многофункциональных статистических пакетах [14 – 19], показал, что в настоящее время отсутствует общепринятая методология, регламентирующая последовательность выполнения их этапов, описания самих этапов разработаны фрагментарно и большинство из них декларативны. Отсутствует этап, посвященный оценке риска прогноза.

Сформулировано определение риска прогноза НВР в ИУС, выполнена постановка задачи исследования.

Получила дальнейшее развитие информационная технология прогнозирования временных рядов, основным отличием которой от существующих информационных технологий является включение и реализация в технологической цепочке этапов, позволяющих проводить детальный анализ составляющих нестационарного временного ряда и осуществлять обоснованный переход к тому или иному методу прогнозирования, предварительно исключив из рассмотрения методы, не удовлетворяющие статистическому описанию исходных данных, а также выполнять оценку риска построенного прогноза.

Список литературы: 1. Компас в мире сервис-ориентированной архитектуры (SOA): ценность для бизнеса, планирование и план развития предприятия [Текст] / [Биберштейн Н., Боуз С., Джонс К., Фиаммант М., Ша Р.] ; [пер. с англ. Лунина С.]. – М. : Кудиц-Пресс, 2007. – 256 с. 2. *Erl, Thomas*. SOA design patterns [Текст] / Thomas Erl. – Boston : Prentice Hall, 2009. – 864 p. 3. Сервис-ориентированная архитектура Oracle [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oracle.com/ru/products/middleware/soa/index.html>. – Заголовок с экрана. 4. *JBoss Enterprise SOA Platform* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.jboss.com/products/platforms/soa/>. – Заголовок с экрана. 5. XML for Analysis Specification. – Введ. с 2002-11-20. – Microsoft Corporation, Hyperion Solutions Corporation, 2002. – 17 p. 6. OMG-Common Warehouse Metamodel, v1.0. – Введ. с 2001-10-01. – OMG, 2001. – 502 p. 7. PMML 4.0 - General Structure of a PMML Document [Электронный ресурс]. – Введ. с 2009-05-16 // Сайт The Data Mining Group, 2009. – Режим доступа: <http://www.dmg.org/v4-0-1/GeneralStructure.html>. – Заголовок с экрана. 8. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нестандартных ситуациях: монография [Текст] / [Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д.]. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с. 9. *Ларичев О.И.* Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития [Текст] / О.И. Ларичев, А. В. Петровский. // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. — Т.21. М.: ВИНТИ, 1987, с. 131—164. 10. *Codd E.F.* Providing OLAP (On-Line Analytical Processing) to User-Analysts: An IT Mandate [Текст] / E.F. Codd, S.B. Codd, C.T. Salley. – Hyperion Solutions Corporation. – 1993. – 24 p. 11. *Одейчук А.Н.* Перспективы создания новых материалов с использованием информационной технологии разработки моделей прогнозирования ценовых показателей исходного сырья [Текст] / А.Н. Одейчук // VIII конференция по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям, 22-26 февраля 2010 г. : тезисы докл. – Харьков : ННЦ ХФТИ. – 2010. – С. 57. 12. *Одейчук А.Н.* Прогнозирование финансовых временных рядов в условиях гетероскедастичности [Текст] / А.Н. Одейчук // Информатизация бізнесу очима молодих: прогресивні технології, наука, підприємництво : всеукр. наук.-практ. конф., 17-18 травня 2007 р. : зб. наук. роб. – Харків : ХНЕУ. – 2007. – №3. – С.9-10. 13. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. ГОСТ 34.003-90. – Введ. с 1992-01-01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 16 с. 14. *Ханк Д.Э.* Бизнес-прогнозирование [Текст] / Д.Э. Ханк, Д.У. Уичерн, А.Дж. Райс ; пер. с англ. В.В. Марченко,

В.Н. Радченко, А.В. Слепцева и др. – [7-е изд.]. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 656 с.15. Економіко-статистичне моделювання і прогнозування [Текст] / [В.П. Кічор, Р.В. Фещур, В.В. Козик та ін.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 156 с.16. Стратегии бизнеса: Аналитический справочник. [Текст] / [Айвазян С.А., Балкинд О.Я., Баснина Т.Д. и др.] ; под ред. Г.Б. Клейнера. – М. : КОНСЭКО, 1998. – 273 с.17. *Смирнова О.С.* Программное обеспечение для статистического анализа [Текст] / О.С. Смирнова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. – Т. 74. – № 5. – С. 68-75.18. *Орлов А.И.* Статистические пакеты – инструменты исследователя [Текст] / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. – Т. 74. – № 5. – С. 76-78.19. Боровиков В.П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов [Текст] / В.П. Боровиков. – [2-е изд.]. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.20. *Одейчук А.Н.* Обобщенный критерий эффективности моделей прогнозирования временных рядов в информационных системах [Текст] / А.Н. Одейчук // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2009. – № 1 (70). – С. 113-119.21. *Одейчук А.Н.* Элементы математического обеспечения интеллектуальной системы прогнозирования в условиях гетероскедастичности // 13-й міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.»: Зб. матеріалів форуму. Ч.2. – Харків: ХНУРЕ, 2009, – с. 107.22. *Субботин А.* Волатильность и корреляция фондовых индексов на множественных горизонтах. [Текст] / А. Субботин, Е. Буянова. // Управление риском, 2008. – № 47(3). – С. 51-59; № 47(4). – С. 23-40.23. *Верченко П.І.* Багатокритеріальність і динаміка економічного ризику (моделі та методи): монографія [Текст] / П.І. Верченко. – К. : КНЕУ, 2006. – 272 с.24. *Вітленський В.В.* Ризикологія в економіці та підприємстві: монографія [Текст] В.В. Вітленський, Г.І. Великоіваненко. – К.: КНЕУ, 2004. – 480 с.

Поступила в редколлегию 11.05.2011

УДК 004.725.5

Н.А. МАРКИН, студ., Восточно-украинский национальный университет им. В.Даля, Луганск,

А.Н. ВОЛОШЕНКО, студ., Восточно-украинский национальный университет им. В.Даля, Луганск,

А.Л. ОВЧИННИКОВ, асс., Восточно-украинский национальный университет им. В.Даля, Луганск

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ СТАНДАРТА IEEE 802.11N

Дана общая характеристика беспроводных сетей стандарта WiFi 802.11n, исследована их реальная пропускная способность, исследована возможность применения таких сетей при передаче файлов большого объема, а также возможность использования мультимедийных сервисов.

Ключевые слова: пропускная способность, IEEE 802.11n, WiFi 802.11.

Дана загальна характеристика бездротових мереж стандарту WiFi 802.11n, досліджена їх дійсна пропускна здатність, досліджена можливість застосування таких мереж при передачі файлів великого розміру, а також можливість використання мультимедійних сервісів.

Ключові слова: пропускна здатність, IEEE 802.11n, WiFi 802.11.

A general characteristic of wireless networking standard, IEEE 802.11n, investigate their actual capacity, the possibility of such networks when transferring large files, as well as the ability to use multimedia services.

Key words: bandwidth, IEEE 802.11n, WiFi 802.11.

Ведение

Беспроводные сети современная и бурно развивающаяся технология передачи данных. С момента появления первого протокола передачи данных по беспроводным каналам связи прошло больше 20-ти лет. С каждым новым стандартом увеличивалась скорость передачи данных и на сегодняшний день последний стандарт IEEE 802.11n обеспечивает скорость передачи данных до 600 Мбит/с

Особенно бурно развиваются беспроводные технологии для компьютерных сетей. Причин для этого несколько: беспроводные сети проще развертывать, поскольку отпадает необходимость в прокладке кабеля. Беспроводные сети позволяют организовать компьютерную сеть там, где с технической точки зрения сделать это проблематично, например, соединить в общую сеть несколько отдельно стоящих зданий. В некоторых зданиях, например, в тех, что представляют историческую ценность, запрещено прокладывать кабель, поэтому беспроводные сети – единственный способ развертывания компьютерной сети. К тому же, беспроводные маршрутизаторы не требуют регистрации в организациях, занимающихся частотным надзором.

Толчок новому витку бурного развития беспроводных сетей был положен в 2002 году,[4] когда был стандартизирован WiFi 802.11g(IEEE 802.11g). Данный стандарт поддерживал скорость передачи до 54 Мбит/с на расстояние до 150 метров[5]. Однако, наблюдается, что реальная скорость передачи данных примерно в 2 раза ниже заявленной и делится в равных пропорциях между всеми пользователями данной беспроводной сети.

Постановка задачи исследования

В настоящее время наибольшее распространение в нашей стране получила беспроводная технология передачи данных основанная на стандарте IEEE 802.11g, основными достоинствами данного стандарта является: широкое распространение всевозможного сетевого оборудования(как клиентского(сетевые адаптеры встроенные в телефоны, ноутбуки и нетбуки) так и серверного(всевозможные точки доступа, роутеры)), относительно низкая стоимость готовых решений использующих данный стандарт беспроводной передачи данных, проверенные временем аппаратные решения.

Однако, с каждым днем возникает потребность передавать все большие объемы данных, например, IP-телевиденье в формате HDTV. В таких случаях реальной пропускной способности беспроводной сети стандарта IEEE 802.11g становится не достаточно. Рассмотрение вопроса реальной пропускной способности сети стандарта IEEE 802.11n является основной целью данной статьи.

Стандарт IEEE 802.11n

Стандарт IEEE 802.11n был утверждён 11 сентября 2009 года.[1] Устройства стандарта IEEE 802.11n улучшают все показатели своего стандарта-предшественника IEEE 802.11g[2]. Сравнительная характеристика этих стандартов представлена в табл.1.

Таблица. Сравнение стандартов беспроводной сети IEEE 802.11n и IEEE 802.11g

	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n
Скорость передачи данных	До 54 Мбит/с	До 600 Мбит/с
Дальность работы	До 150 метров	До 300 метров
Частотные диапазоны	2,4 ГГц	2,4 ГГц, 5 ГГц
Ширина канала	20 МГц	20 МГц, 40 МГц
Количество антенн	1 штука	До 4 штук

Как видно из табл. 1 стандарт IEEE 802.11n может работать с различным количеством антенн, начиная от 1 шт., заканчивая 4-мя. Наблюдается прямая зависимость между количеством антенн и скоростью передачи данных. В данной статье исследование стандарта IEEE 802.11n будет производиться при 2-х передающих антеннах, т.о. максимальная скорость передачи составляет 300 Мбит/с.[1]

Разработчики стандарта IEEE 802.11n смогли достичь полной обратной совместимости со стандартом IEEE 802.11g[3] В связи с этим устройства IEEE 802.11n могут работать в одном из трех режимов:

- «наследуемом», в котором поддерживаются устройства 802.11a/b/g;
- «смешанном», в котором поддерживаются устройства 802.11a/b/g/n;
- «чистом» режиме — 802.11n (именно в этом режиме и можно воспользоваться преимуществами повышенной скорости и увеличенной дальностью передачи данных, обеспечиваемыми стандартом IEEE 802.11n).

Заявленные производителями характеристики стандарта IEEE 802.11n позволяли бы использовать его при онлайн-трансляции видео в высоком разрешении, давали бы возможности использовать беспроводное подключение к серверам и базам данных, а так же позволяли бы осуществлять более частые репликации.

Итак, стандарт IEEE 802.11n должен превосходить стандарт IEEE 802.11g по скоростным показателям примерно в 6 раз, проверим – так ли это на самом деле.

Сравнение реальной скорости передачи данных в стандартах IEEE 802.11n

Для тестирования реальной скорости передачи данных в сетях стандарта IEEE 802.11n воспользуемся компьютерной сетью, включающей в себя 2 компьютера, 2 беспроводных маршрутизатора и 1 проводной маршрутизатор. Схема компьютерной сети представлена на рис.1.

Для определения реальной скорости передачи данных в сетях IEEE 802.11n проведем 2 эксперимента. Первый эксперимент заключается в передаче UTP трафика на протяжении 10 секунд, второй – загрузка файла размером 100 Мбайт по протоколу FTP. Для уменьшения влияния случайной ошибки проведем каждый из экспериментов по несколько раз.

Результаты первого эксперимента представлены на рис.2 и 3. По результатам первого эксперимента средняя скорость передачи данных в беспроводной сети стандарта IEEE 802.11n составила 103 Мбит/секунду.

В результате второго эксперимента было выяснено, что для передачи файла размером 100 Мбайт в беспроводной сети стандарта IEEE 802.11n требуется около 12 секунд. Для сравнения, в беспроводной сети стандарта IEEE 802.11g для этого потребуется около минуты.



Рис. 1. Структура сети

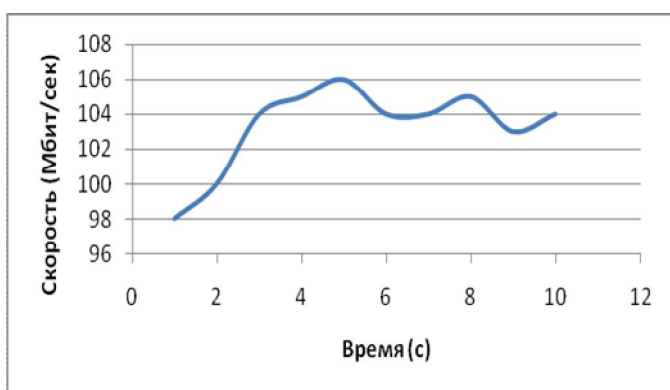


Рис. 2 Скорость передачи данных

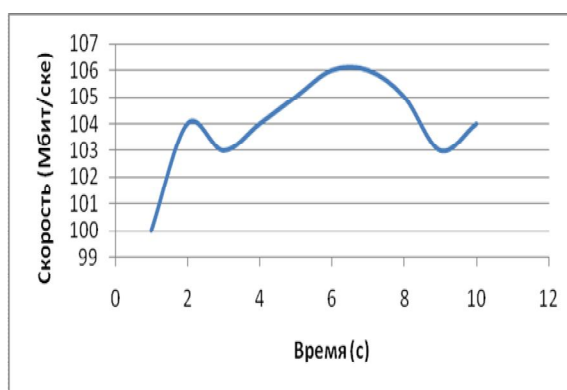


Рис. 3 Скорость передачи данных

Выводы

В ходе проведенных экспериментов было выяснено, что скорость передачи данных в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.11n не достигает 300 Мбит. Это вызвано следующими факторами:

- Наличие служебной информации в передаваемом пакете с данными.
- Неидеальная среда передачи данных.
- Присутствие помех, создаваемых другими устройствами.

Стоит отметить, что скорость передачи данных в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.11n примерно в 4-5 раз больше[2], чем в беспроводных сетях предыдущего поколения. К тому же, скорости передачи данных, которую обеспечивает беспроводная сеть стандарта IEEE 802.11n достаточно для комфортного использования мультимедийных сервисов, скоростного обмена файлами большого размера. Таким образом, можно смело утверждать, что в ближайшем будущем беспроводные сети стандарта IEEE 802.11n вытеснят сети стандарта IEEE 802.11g.

Список литературы: 1.ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n 2.diwaxx.ru/gel/wi-fi-802-11n.php 3.otvet.info/internet/218-standart-wifi-80211-n.html 4.<http://focus.ti.com/lit/wp/sply012/sply012.pdf> 5.<http://www.compress.ru/article.aspx?id=17782&iid=822#Стандарт IEEE 802.11g>

Поступила в редколлегию 11.05.2011

Р.О.ШАПОРИН, канд. техн. наук, доц., ОНТУ, Одесса,
О.Е.ПЛАЧИНДА, канд. техн. наук, доц., ОНТУ, Одесса

МЕТОД РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Запропоновано метод розрахунку параметрів комунікаційного обладнання, який дозволяє суттєво зменшити час та підвищити точність проектування мереж передачі даних, побудованих на комутаторах.

Ключові слова: мережі передачі даних, час транзакції.

Предложен метод расчета параметров коммуникационного оборудования, позволяющий существенно сократить время и повысить точность проектирования сетей передачи данных, построенных на коммутаторах.

Ключевые слова: сети передачи данных, время транзакции.

A method for calculation of the communication equipment parameters is proposed. It allowing considerably reduce the time and improve the accuracy of the design for data transmission networks that built on the switch.

Key words: data transmission network, the time of the transaction.

Построение современных сетей передачи данных выполняется в соответствии с показателем "производительность/стоимость", при этом в качестве основного ограничения используются ограничения на средние времена транзакций $T_{\text{ТР}}$ абонентов сети [1]

$$\forall i, i = 1, N, (T_{\text{ТР}i} \leq T_{\text{ТР}i}^{\text{ДОП}}),$$

где N – количество абонентов, $T_{\text{ТР}i}^{\text{ДОП}}$ – допустимое время транзакции i -го абонента.

Для расчета времени транзакций применяются специализированные системы моделирования [2]. В данных системах для расчета величины $T_{\text{ТР}}$ используется модель сети с идеальным коммуникационным каналом связи, т.е. каналом, в котором предполагается наличие буферов бесконечного размера для промежуточного хранения передаваемой информации, и отсутствуют искажения передаваемых кадров. В качестве основных коммуникационных устройств, используемых для построения современных сетей передачи данных, применяются коммутаторы, имеющие ограниченный размер буферов в каждом из своих портов. Переполнение буферов приводит к потерям информационных кадров, что, в свою очередь, приводит к увеличению времени транзакций. Поэтому разработка метода расчета размера буферов коммутаторов, которые обеспечивают требуемое качество обслуживания абонентов при заданной структуре и трафике (нагрузке) сети является актуальной.

В качестве физической среды передачи используются различные категории витой пары, обеспечивающие соответствующий уровень битовых ошибок $P_{\text{ОБ}}$ передаваемой информации. Величина $P_{\text{ОБ}i}$ i -го канала связи сетей передачи

данных в зависимости от количества линий M , входящих в его состав, количества разъемных соединений в моноканале K , длины канала D , а также уровня перекрестных помех $NEXT$ и коэффициента затухания α , определяется, как $P_{Обi} = f(M, K, D, NEXT, \alpha)$.

Отбрасывание кадров, связанное с переполнением буферов или искажением информации, приводит к их повторной передаче, что необходимо учитывать в задачах синтеза сетей передачи данных. Анализ известных информационных технологий построения сетей передачи данных показывает, что в них отсутствует методика выбора размера информационных буферов коммутатора, что затрудняет процедуру проектирования сетей с использованием данных коммуникационных устройств.

Суть предлагаемого метода состоит в последовательном применении трехэтапной процедуры:

—с использованием метода объектно-ориентированной декомпозиции [3] соответствующий фрагмент сети представляется в виде эквивалентной сетевой структуры;

—выполняется расчет времени транзакции для полученной структуры для реального канала связи;

—выполняется расчет объема буферов коммутаторов в предположении об использовании реального канала связи.

Для формулирования метода расчета объема буферов неинтеллектуального коммутатора, определим общее время сетевой транзакции по реальному каналу связи

$$T_{TP_i}^P = T_{TP_i}^{ИК} (1 + K_{СК} P_{TP}^{СК} + K_{КП} P_{TP}^{КП}) + \\ + T_{ТА} \left[\frac{1 - \rho_i}{1 - \rho_i^{L+1}} \rho_i^L + \frac{(Y + K_{КП} P_{TP}^{КП} - Y K_{КП} P_{TP}^{КП} P_{Обj}) P_{Обj}}{1 - Y P_{Обj}} + e^{-X} \right],$$

где $T_{TP}^{ИК}$ – время транзакции информационного кадра; $K_{СК}$ – коэффициент, учитывающий размер кадра служебного трафика; $P_{TP}^{СК}$ – вероятность транзакции служебного кадра; $K_{КП}$ – коэффициент, учитывающий размер кадров подтверждения; $P_{TP}^{КП}$ – вероятность транзакции кадра подтверждения; $T_{ТА}$ – величина времени тайм-аута; ρ – величина загрузки порта коммутатора; L – размер буфера порта коммутатора; Y – общий размер передаваемого кадра;

$$X = T_{ТАi} / (T_{TP_i}^{ИК} (1 + K_{СК} P_{TP}^{СК} + K_{КП} P_{TP}^{КП})).$$

С учетом ограничений, которые наложены на времена транзакций, объем буферов коммутатора, обеспечивающий выполнение ограничений для i -го абонента сетей передачи данных, может быть представлен, как

$$L_i = \frac{\ln Q_i - \ln(1 - \rho - Q_i \rho)}{\ln \rho},$$

где

$$Q_i = \left[T_{TP_i}^{ДОП} - T_{TP_i}^{ИК} \left(1 + K_{СК} P_{TP}^{СК} + K_{КП} P_{TP}^{КП} \right) \right] / T_{ТА_i} - \left[\frac{\left(Y + K_{КП} P_{TP}^{КП} - Y K_{КП} P_{TP}^{КП} P_{ОБ_j} \right) P_{ОБ_j}}{1 - Y P_{ОБ_j}} + e^{-X} \right]$$

Ограничения на времена транзакций должны выполняться для всех абонентов и всех серверов сетевой структуры, поэтому объем буферов коммутатора определяется из соотношения

$$L = \max_{i,k} \{L_{ik}\}, \forall i, i = \overline{1, N} \wedge \forall k, k = \overline{1, G}, \quad (1)$$

где N – число абонентов сетевой структуры; G – число серверов сетевой структуры.

Предложенный метод расчета объема буферов коммутатора обеспечивает выполнение ограничений на времена выполнения транзакций для всех абонентов сетевой структуры с учетом реального канала связи, применяемого в современных сетевых структурах с использованием неинтеллектуальных коммутаторов.

Аналогично, для формулирования метода расчета объема буферов интеллектуального коммутатора, определим общее время сетевой транзакции по реальному каналу связи

$$T_{TP_i}^P = T_{TP_i}^{ИК} \left(1 + K_{СК} P_{TP}^{СК} + K_{КП} P_{TP}^{КП} \right) + T_{ПК_i} \left[\frac{1 - \rho_i}{1 - \rho_i^{L+1}} \rho_i^L + \frac{\left(Y + K_{КП} P_{TP}^{КП} - Y K_{КП} P_{TP}^{КП} P_{ОБ_j} \right) P_{ОБ_j}}{1 - Y P_{ОБ_j}} + e^{-X} \right]$$

где $T_{ПК_i}$ – время передачи кадра через i -й серверный порт.

Тогда необходимый объем порта для выполнения ограничений на время выполнения i -й транзакции

$$L_i = \frac{\ln Q_i - \ln(1 - \rho - Q_i \rho)}{\ln \rho}$$

где

$$Q_i = \left[T_{TP_i}^{ДОП} - T_{TP_i}^{ИК} \left(1 + K_{СК} P_{TP}^{СК} + K_{КП} P_{TP}^{КП} \right) \right] / T_{ПК_i} - \left[\frac{\left(Y + K_{КП} P_{TP}^{КП} - Y K_{КП} P_{TP}^{КП} P_{ОБ_j} \right) P_{ОБ_j}}{1 - Y P_{ОБ_j}} + e^{-X} \right].$$

Аналогично ограничения на времена транзакций должны выполняться для всех абонентов и всех серверов сетевой структуры, поэтому объем буферов интеллектуального коммутатора определяется из соотношения

$$L = \max_{i,k} \{L_{ik}\}, \forall i, i = \overline{1, N} \wedge \forall k, k = \overline{1, G}, \quad (2)$$

где N – число абонентов сетевой структуры; G – число серверов сетевой структуры.

В рассмотренном методе расчета коммутаторы поддерживают только один тип буферов. Если возможно использование различных типов буферов для

абонентских и серверных/внешних портов, то размеры буферов серверных/внешних портов определяются согласно соотношениям (1) и (2), а размер буферов для абонентских портов рассчитывается по формуле:

$$\forall i, i = 1, M \rightarrow L_i = Y_{\max} O,$$

где L_i – размер буфера i -го абонентского порта; Y – максимальный размер пакета; O – размер "окна" подтверждения; M – количество абонентских портов.

Таким образом, предложен метод расчета параметров коммуникационного оборудования, позволяющий существенно сократить время и повысить точность проектирования сетей передачи данных, построенных на коммутаторах. Применение метода позволяет получать проектные решения, отвечающие показателю "производительность /стоимость".

Список литературы: .1. Шапорин, Р. О. Метод расчета времени транзакции в территориально рас-пределенной компьютерной сети судоходной компании [Текст] / Р. О. Ша-порин, В. Ф. Шапо // Тези доп. 15-ї міжнар. конф. "Автоматика-2008", м. Одеса, 2008р. – Одеса: ОНМА, 2008. – Т.2. – С. 659-662. 2. Тимченко, А. А. Основы системного проектування та системного аналізу складних об'єктів [Текст] / А. А. Тимченко. — К.: Либідь, 2000. — 272 с.3. Шапорин, Р. О. Объектно-ориентированный подход к созданию комму-никационных систем компьютерных сетей масштаба предприятия [Текст] / Р. О. Шапорин, И. Г. Милейко // Збірник наукових праць. Матеріали Міжвузівської науково-практичної конференції "Прогресивні інформаційні технології в науці та освіті", м. Вінниця, 2007р. – Вінниця: ВСЕІ, 2007. – С. 13-17.

Поступила в редколлегию 19.04.2011

УДК 004.413:338.5

В.А. ХОМЕНКО, канд. техн. наук, , зам. зав. отделом, Институт программных систем Национальной академии наук Украины, Киев

ЭКОСИСТЕМЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Розглянуто використання концепцій екосистем виробниками та дослідниками програмного забезпечення та запропоновані моделі екосистем.

Ключові слова: екосистеми програмного забезпечення, інженерія

Рассмотрено использование концепций экосистем производителями и исследователями программного обеспечения и предложены модели экосистем.

Ключевые слова: экосистемы программного обеспечения, инженерия

This article presents a usage of concepts of ecosystems by the software developers and researchers. The ecosystem models are proposed

Key words: software ecosystems

Введение

Программное обеспечение как часть информационных технологий очень быстро – с 40-х годов до конца XX столетия прошла путь развития, на который в машиностроении ушло более 100 лет, в архитектуре – тысячи, а в становлении биологической жизни на Земле – миллиарды лет. Как отмечено в работе Лемана [1] программное обеспечение в аспекте развития – это «мушка-дрозофила»

техники, поскольку его эволюцию можно проследить в течение менее одного человеческого поколения. На сегодняшний момент общее состояние программного обеспечения можно охарактеризовать следующими показателями [2]: объем рынка – 157 млрд. евро; число предприятий – около 1.1 миллиона (США – 39,5 %, Европа – 35,5 %, Азия – 20 %, Африка и Ближний Восток – 5 %); объем ежегодно разрабатываемого кода – 300 миллионов строк; общий объем работающего кода – около 1 триллиона строк.

Постановка задачи

Программное обеспечение стало глобальным явлением, включающим множество тесно взаимодействующих социально-технических систем. Совокупность современного программного обеспечения характеризуется глобальным распространением, колоссальными объемом и сложностью, тесным и сложным взаимодействием систем, широкой интеграцией в социальные отношения, появлением новых видов взаимодействий при разработке, сопровождении, обмене, распространении и использовании. Это новое его состояние вызывает потребность использования дополнительных понятий и концепций для изучения и описания. Одним из проявлений такой потребности являются современные попытки использования концепций биологических экосистем.

Использование терминов экосистем в программном обеспечении

В последние несколько лет понятие «экосистема программного обеспечения» и сопутствующие термины активно используются производителями и исследователями программного обеспечения. Обзор веб-сайтов ведущих производителей программного обеспечения показывает, что большинство из них применяют понятие «экосистема программного обеспечения» (например [3-5]), обозначая им системы, включающие предприятие разработчика, его программное обеспечение и партнеров. Производители применяют этот термин «как есть», без теоретических базы или ссылок на соответствующие труды. Некоторое исключение составляет корпорация «Майкрософт», которая дает определение экосистемы программного обеспечения как совокупности взаимодействий и взаимных влияний организаций (государственных, учебных и коммерческих) и индивидуумов, работающих с программным обеспечением [3].

Научные исследования, использующие понятия экосистем, на сегодняшний день представлены несколькими трудами [6-8]. В работе [6] «Экосистемы программного обеспечения» авторы описывают типовые элементы экосистем и их контекст, делая попытку на качественном уровне спрогнозировать характеристики развития глобальной экосистемы программного обеспечения с точки зрения дальнейшего повышения эффективности технологий разработки, появления и развития новых областей применения.

В диссертации «Обратная инженерия экосистем программного обеспечения» [14] экосистемы рассматриваются как уровень абстракции над программными продуктами и проектами, который может быть описан путем анализа нижних уровней. Автор предлагает метод и средства для обратной инженерии экосистем, суть которой заключается в анализе информации компонентов проектов для получения надпроектных высокоуровневых представлений, характеризующих

организацию, компоненты программного обеспечения и обусловленную социальную структуру.

В отчете института инженерии программного обеспечения SEI [8], посвященном системам ультрабольшого масштаба (Ultra-Large-Scale Systems), подчеркивается, что в отрасли существует тенденция к использованию концепций экосистем для обозначения социально-технических систем программного обеспечения. Авторы объясняют это подобием современных систем программного обеспечения ультрабольшого масштаба динамическим сообществам независимых и конкурирующих организмов в сложной изменяющейся среде. Под организмами понимаются люди, вычислительные устройства и организации. Из свойств концепций экосистем, полезных при рассмотрении больших систем программного обеспечения, выделяют такие как сложность, децентрализованное управление, сложнопредсказуемые эффекты определенных видов, сложности мониторинга и оценивания, соревнования в нишах, стойкость, адаптивность, стабильность и жизнеспособность.

Таким образом, у разработчиков и исследователей складывается новый взгляд на программное обеспечение – как на социально-техническую систему, имеющую характеристики, подобные биологическим экосистемам. Масштаб таких экосистем варьируется от определенной совокупности проектов организации до глобальной совокупности всего программного обеспечения.

Модели экосистем программного обеспечения

Сравнительное изучение биоэкосистем и экосистем программного обеспечения позволяет по-анalogии предложить свойства для последних. Как и для биоэкосистем эти свойства можно разделить на холистические, характеризующие систему в целом, и мерологические, характеризующие внутреннюю структуру экосистемы [9]. Обобщенная модель экосистемы

программного обеспечения, подобно биоэкосистеме, может быть представлена как собственно экосистема в установленных границах, среда на входе и среда на выходе (рис. 1). Среда показывает обмен элементами экосистем – специалистами и программным обеспечением.

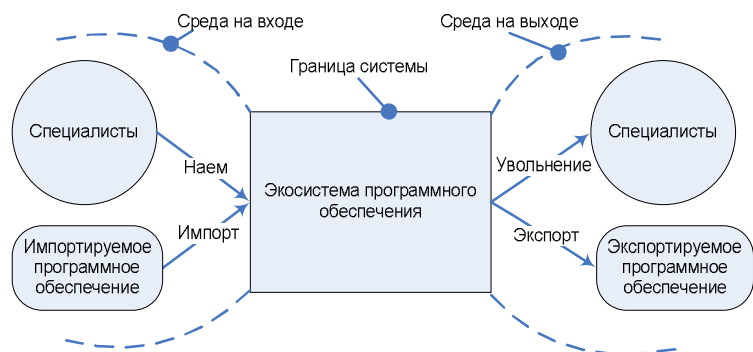


Рис. 1. Холистическая модель экосистемы программного обеспечения

Предложенная модель обуславливает ряд возможных аспектов и свойств экосистем программного обеспечения для изучения. Во-первых, требование определения границ конкретной экосистемы позволяет предметно рассматривать обмен экосистемы со средой и устанавливать характеристики объема (размера) экосистемы. Граница также вынуждает исследователя четко отделить элементы экосистемы от элементов среды. Так, упомянутые выше элементы экосистемы, предлагаемые Майкрософт (государства, учебные заведения и т.д.), все вместе могут относиться только к экосистеме программного обеспечения глобальной

или масштаба государства; для экосистем меньшего размера большинство из них будут средой. Во-вторых, определение сред на входе и выходе в модели позволяет выявлять и описывать существенные связи экосистемы со средой, объемы и состав обмена. При этом, вопрос справедливости для экосистем программного обеспечения закономерностей, присущих биоэкосистемам, например, уменьшение зависимости системы от внешних частей при увеличении размера [9], требует отдельного исследования. На рис. 2 представлена обобщенная мерологическая модель экосистем программного обеспечения. Предлагаемая модель позволяет показать элементы, принадлежащие экосистеме и обмен между ними. Как и для холистической модели



Рис. 2. Мерологическая модель экосистемы программного обеспечения

(рис.1) важнейшим вопросом является выбор сущностей, которыми обмениваются элементы системы.

Использование в качестве такой сущности экономических единиц не позволяет отразить смысла, внутренних механизмов и закономерностей обмена между элементами, поскольку экономические показатели являются универсальными косвенными показателями человеческой деятельности, инвариантными к ее смыслу и назначению. Общеизвестная концепция процессов жизненного цикла программного обеспечения дает возможность показать связи более конкретно – используя известные продукты и ресурсы процессов и фаз – программы, документацию, персонал и т.п [10]. Очевидно, что мерологическая модель позволяет определить и использовать широкий набор свойств экосистемы, часть которых уже используются в программном обеспечении.

Свойства мерологической модели могут описывать состав, число элементов и структуру экосистемы, интенсивность связей между элементами и т.п. Например, известные показатели – частота и объем повторного использования компонентов из репозитория организации, являются свойствами экосистемы, характеризующими роль репозитория в разработке. Интересными представляются свойства, которые можно определить при рассмотрении элемента модели «Бесполезное программное обеспечение» (рис.2), например, объем бесполезно разрабатываемого программного обеспечения организации и его отношение к объему полезного. Такого рода свойства могут использоваться исследователями экологии программного обеспечения [11] и менеджерами разработчиков.

Выводы

Развитие программного обеспечения является постепенным итерационным процессом, каждый цикл которого обеспечивает новые возможности [1]. Однако,

как и эволюция биологических видов [12], эволюция программного обеспечения не может рассматриваться без учета развития его экосистемы, поскольку требует соответствующего развития других элементов экосистемы – квалификации и опыта разработчиков и партнеров, навыков и ожиданий пользователей. Поэтому, экосистемы программного обеспечения могут стать дополнительным инструментом исследования и оценки эволюции программного обеспечения.

Список литературы: 1.*M. Lehman*. Software Evolution – Background, Theory, Practice. Integrated Design and Process Technology. Society for Design and Process Science. – 2003 – 11p. 2. Aid to recovery: the economic impact of IT, software, and the Microsoft ecosystem on the global economy. – IDC White Paper, – 2009, 9p. 3. *Cynthia Keeshan*. The Software Ecosystem. - <http://www.microsoft.com/canada/media/ecosystem.msp> 4. Программа готовности экосистем Windows - Windows Ecosystem Readiness Program. - <http://www.microsoft.com/whdc/Win7/default.msp> 5. Экосистема и партнеры SAP – SAP ECOSYSTEM AND PARTNERS. – <http://www.sap.com/ecosystem/index.epx> 6. *David G. Messerschmitt and Clemens Szyperski*. Software Ecosystem: Understanding an Indispensable Technology and Industry. Cambridge, MA, USA: MIT Press. ISBN 0262134322 – 2003. 7. *Mircea F. Lungu*. Reverse Engineering Software Ecosystems Doctoral Dissertation – Faculty of Informatics of the Universita della Svizzera Italiana 2009. - 186p. 8. Ultra-Large-Scale Systems. The Software Challenge of the Future. SEI. Pittsburgh June 2006 – 150 p. 9. *Одум Ю.* Экология. в 2-х т. Пер. с англ. М.- Мир, 1986. 10. IEEE Std 1074-1997 IEEE Standard for Developing Software Life Cycle Processes. 11. *Сидоров М.О.* Программное обеспечение – экологический подход к исследованиям. // Инженерия программного забезпечення. – 2010. – №1. – С. 5-13. 12. *Пианка Э.* Эволюционная экология. – М.: Мир, 1981. – 400с

Поступила в редколлегию 19.05.2011

УДК 656.13

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

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАТОРА НА ДИНАМИЧЕСКИЙ ГАБАРИТ АВТОМОБИЛЯ

Розглянуті питання впливу транспортного затору на зміну часу реакції водія і динамічного габариту автомобіля. Приведені деякі результати розрахунків оцінки зміни динамічного габариту автомобіля і його впливу на безпеку руху.

Ключові слова: транспортний затор, динамічний габарит, час реакції, латентний період.

Рассмотрены вопросы влияния транспортного затора на изменение времени реакции водителя и динамического габарита автомобиля. Приведены некоторые результаты расчетов оценки изменения динамического габарита автомобиля и его влияния на безопасность движения.

Ключевые слова: транспортный затор, динамический габарит, время реакции, латентный период.

The questions of influence of a transport congestion are considered on the change of time of reaction of driver and dynamic size of car. Some results over of calculations of estimation of change of dynamic size of car and his influence are brought on safety of motion.

keywords: a transport congestion, dynamic size, time of reaction, latent period.

Введение

Транспортные заторы являются проблемой практически всех крупных и крупнейших городов. В них теряется много времени пассажиров и водителей, значительно увеличивается время доставки грузов. Выхлопные газы автомобилей

наносят существенный вред экологии города. Отсюда следует, что одной из важнейших задач организации дорожного движения (ОДД) является минимизация длительности транспортных заторов.

Постановка проблемы

Пребывание в транспортном заторе оказывает отрицательное воздействие на психофизиологию водителя. При этом ухудшается его функциональное состояние (ФС) [1]. Возрастание эмоциональной напряженности приводит к временному расстройству некоторых психических функций водителя, росту его времени реакции [2].

Время реакции водителя играет важную роль в обеспечении безопасности движения (БД) [3]. От него зависит тормозной путь автомобиля. Увеличение времени реакции водителя приводит к увеличению динамического габарита автомобиля, от которого зависит интервал движения между соседними автомобилями в транспортном потоке.

Анализ последних исследований и публикаций

Вопросы ОДД и транспортных потоков рассмотрены во многих работах [1,2,4-15].

Образование транспортного затора приводит к прекращению движения транспорта, при этом плотность потока достигает максимального значения, а интенсивность и скорость становятся равными нулю. Отсюда следует, что технология ОДД должна быть организована таким образом, чтобы она привела к избеганию транспортных заторов или, по крайней мере, к сокращению их длительности.

В работах [4-9,12,13] подробно рассмотрены вопросы теории транспортных потоков и ОДД. Также освещены некоторые аспекты влияния плотности транспортных потоков на скорость автомобилей и на время реакции водителей. Однако взаимосвязь между образованием транспортных заторов и временем реакции водителя через его психофизиологию изучено не в полной мере.

Авторы работ [1,3,10,11,15] изучили вопросы ОДД с учетом психофизиологии водителя, при этом подчеркнуто, что технология ОДД влияет на ФС водителя. Однако вопросы влияния ФС на время реакции водителя и изменения динамического габарита автомобиля освещены недостаточно.

Исследования по изучению влияния транспортных заторов на время реакции водителя приведены в работе [2]. Но эту взаимосвязь необходимо уточнить с учетом изменения ФС водителя.

В работах [14,16] подробно рассмотрены вопросы ОДД с учетом БД. Однако в них также отсутствуют исследования по изучению влияния длительности транспортных заторов на изменение ФС водителя и на время реакции.

Цель исследования

Целью исследования является изучение влияния длительности транспортного затора на изменение динамического габарита автомобиля.

Основной материал

Транспортные заторы приводят к значительному снижению скорости движения (v) вплоть до нуля. Это обусловлено перенасыщением некоторых участков улично-дорожной сети транспортными потоками.

С увеличением плотности потока (λ) интенсивность движения (N) возрастает до тех пор, пока не станет равной максимальной пропускной способности дороги (P_{max}). Продолжение этого процесса происходит до тех пор, пока плотность потока не достигнет максимального значения, то есть не станет равной плотности затора.

Признаки возникновения заторов можно выявить с помощью основной диаграммы транспортного потока (рис. 1) [4].

Если из начала координат провести радиус-вектор в какую-либо точку кривой $N(\lambda)$, то тангенс угла α , образованного радиус-вектором и осью абсцисс, характеризует скорость движения транспортного потока при соответствующих значениях λ и N . Тангенс угла наклона касательной к

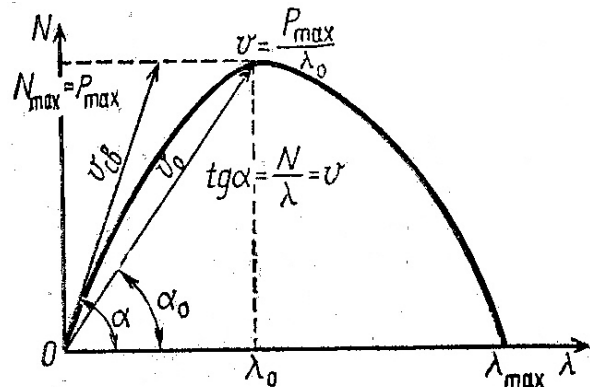


Рис. 1 Основная диаграмма транспортного потока

кривой в начале координат характеризует скорость свободного движения $v_{св}$. С увеличением плотности скорость также уменьшается, и при λ_{max} становится равной нулю.

В нормальных дорожных условиях, когда скорость движения не ограничена ни геометрическими элементами, ни состоянием проезжей части, скорость потока может быть больше оптимальной, но меньшей, чем скорость свободного движения. Вынужденное уменьшение скорости ($v < v_0$) или вынужденное увеличение плотности ($\lambda > \lambda_0$) приводит снижению пропускной способности от P_{max} до P и к образованию очередей и заторов на предыдущих участках дороги.

Регулярные заторы обусловлены недостаточной видимостью, уменьшением количества полос движения и другими стеснениями дорожного движения. Регулярные заторы возникают также у примыкания дорог, если поток автомобилей, поступающих с примыкающей дороги настолько велик, что вызывает сдвиг характеристик потока в правую область диаграммы, характерной для данного участка дороги.

Максимальная пропускная способность дороги определяется на основе анализа основного уравнения транспортного потока:

$$N = \lambda v \quad (1)$$

При расстоянии между передними бамперами последовательно движущихся автомобилей L (м) и скорости v (м/с) количество автомобилей, прошедших через данное сечение за 1 час, то есть пропускная способность полосы движения равна:

$$P = \frac{3600v}{L}. \quad (2)$$

Отрезок дороги L , который автомобиль занимает во время движения, называется его динамическим габаритом и включает в себя его длину l_a , путь реакции водителя vt (t – время реакции), путь торможения S_T и зазор безопасности l_0 до впереди едущего автомобиля:

$$L = vt + S_T + l_a + l_0. \quad (3)$$

Как видно из зависимости (3), динамический габарит автомобиля зависит от скорости, времени реакции и тормозного пути. С увеличением скорости автомобиля увеличивается его динамический габарит.

Однако если предположить, что скорость автомобиля не изменяется и, соответственно, тормозной путь не изменяется, то на изменение динамического габарита влияет только время реакции водителя. При этом необходимо отметить, что время реакции состоит из моторного и латентного периодов. Латентный период – это время от начала появления раздражителя до момента реагирования на него. Моторный период – это время выполнения ответного действия. С точки зрения работы водителя важное значение имеет латентный период сложной реакции. Его длительность зависит от сложности дорожной обстановки, от опыта водителя, его состояния и индивидуально-психологических особенностей. Сложная реакция требует значительно больше времени, чем простая. Время реакции зависит от напряжения внимания водителя. Внезапное появление опасности значительно увеличивает время реакции. Если водитель располагает временем для подготовки к выполняемому маневру, то время реакции принимают равное 0,75 с, а при неожиданном появлении препятствия – 1,5 с [2].

Каждое пребывание водителя в транспортном заторе приводит к росту его эмоционального напряжения и, соответственно, к росту его времени реакции [2]. Пребывание во втором или в последующих заторах приводит к дальнейшему росту психоэмоционального напряжения и увеличению времени реакции. Ранее проведенные исследования показали, что во время пребывания во втором транспортном заторе у водителей увеличилось время реакции по сравнению с первым в среднем от 0,1 с до 0,5 с [2].

Элементарные расчеты по оценке динамического габарита автомобиля по зависимости (3) при изменении времени реакции водителя от 0,1 с до 0,5 с заключаются в следующем.

Допустим, что автомобиль движется с постоянной скоростью в 60 км/ч, что эквивалентно 16,7 м/с. Тогда значение S_T тоже остается постоянным. Предположим, что сумма S_T , l_a и l_0 равно 20 м. Пусть до транспортного затора латентный период времени реакции ($t_{лр}$) водителя равно 1 с. Тогда:

$$L = 16,7 \cdot 1 + 20 = 36,7 \text{ м.}$$

Увеличение $t_{лр}$ на 0,1 с приводит к следующему изменению динамического габарита:

$$L_1 = 16,7 \cdot 1,1 + 20 = 38,37 \text{ м.}$$

Соответственно, для $t_{лр}$ равное 1,2; 1,3; 1,4 и 1,5 с динамический габарит автомобиля изменится следующим образом:

$$L_2 = 16,7 \cdot 1,2 + 20 = 40,04 \text{ м;}$$

$$L_3 = 16,7 \cdot 1,3 + 20 = 41,71 \text{ м;}$$

$$L_4 = 16,7 \cdot 1,4 + 20 = 43,38 \text{ м;}$$

$$L_5 = 16,7 \cdot 1,5 + 20 = 45,05 \text{ м.}$$

Из вышеприведенных расчетов видно, что увеличение $t_{лр}$ на: 0,1 с приводит к увеличению динамического габарита автомобиля на 1,67 м; 0,2 с – на 3,34 м; 0,3 с – на 5,01 м; 0,4 с – на 6,68 м; 0,5 с – на 8,35 м. Если принять зазор безопасности $l_0 = 5$ м, то увеличение $t_{лр}$ на 0,3 с и более приводит к столкновению с передним

автомобилем, так как изменение динамического габарита автомобиля в этом случае превышает 5 м. Это означает, что водитель, выйдя из транспортного затора и сохраняя прежний динамический габарит может допустить совершение дорожно-транспортного происшествия (ДТП).

Кроме того, многочисленными исследованиями последствий ДТП установлено, что в 70% случаев после наезда на пешехода, автомобиль проезжал не более 1 метра [3]. Отсюда следует необходимость и важность мероприятий по сокращению $t_{лр}$ и динамического габарита автомобиля.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Динамический габарит автомобиля является одним из основных характеристик, определяющих плотность транспортного потока и обеспечивающих БД. Мероприятия по его уменьшению тесно связаны с сокращением времени реакции водителя, особенно, латентного периода. Транспортные заторы оказывают влияние на динамический габарит автомобиля в сторону его увеличения.

Дальнейшие исследования необходимо проводить с целью определения влияния транспортных заторов на ФС водителя и установлению зависимости между длительностью транспортных заторов и временем реакции водителя с учетом механизма изменения ФС водителя.

Список литературы: 1. *Гюлев, Н.У.* Влияние времени простоя автомобиля в дорожном заторе на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2011. — Т.1/10(49). — С. 50–52. 2. *Гюлев, Н.У.* Об изменении времени реакции водителя вследствие пребывания в транспортном заторе / Н. У. Гюлев // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — 2011. — №2. — С. 117–120. 3. *Мишури́н, В. М.* Психофизиологические основы труда водителей автомобилей : учеб. пособие / В. М. Мишури́н, А. Н. Романов, Н. А. Игнатов. — М. : МАДИ, 1982. — 254 с. 4. *Хомяк, Я. В.* Организация дорожного движения / Я. В. Хомяк. — К. : Вища школа, 1986. — 271 с. 5. *Бабков, В. Ф.* Дорожные условия и организация движения / В. Ф. Бабков. — М. : Транспорт, 1974. — 238 с. 6. *Клинковштейн, Г. И.* Организация дорожного движения / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. — М. : Транспорт, 2001. — 247 с. 7. *Дрю, Д.* Теория транспортных потоков и управление ими : пер. с англ. — М. : Транспорт, 1972. — 423 с. 8. *Хейт, Ф.* Математическая теория транспортных потоков : пер. с англ. — М. : Мир, 1966. — 288 с. 9. *Гаврилов, Э. В.* Эргономика на автомобильном транспорте / Э. В. Гаврилов. — К. : Техника, 1976. — 152 с. 10. *Гюлев, Н.У.* Модель влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2011. — Т.2/6(50). — С. 73–75. 11. *Лобанов, Е. М.* Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е. М. Лобанов. — М. : Транспорт, 1980. — 311 с. 12. *Брайловский, Н. О.* Моделирование транспортных систем / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. — М. : Транспорт, 1978. — 125 с. 13. *Романов, А. Г.* Дорожные условия в городах: закономерности и тенденции / А. Г. Романов. — М. : Транспорт, 1984. — 80 с. 14. *Бабков, В. Ф.* Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. — М. : Транспорт, 1982. — 288 с. 15. *Давідіч, Ю. О.* Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водія / Ю. О. Давідіч. — Харків : ХНАДУ, 2006. — 292 с. 16. *Коноплянко, В. И.* Организация и безопасность дорожного движения / В. И. Коноплянко. — М. : Транспорт, 1991. — 183 с.

Поступила в редколлегию 19.04.2011

УДК 621.311.22

О.В. ЛИСИХ, маг., НТУ «КПІ», Київ

ГАЗОПАРОТУРБИННА УСТАНОВКА З ВИКОРИСТАННЯМ НАДЛИШКОВОЇ НАСИЧЕНОЇ ВОДИ В ЇЇ ЦИКЛІ

У газопаротурбінних установках температура відпрацьованих газів після котла-утилізатора залишається досить високою 160-170 ° С. В статті розглядається спосіб зниження цієї температури.

Ключові слова: газопаротурбінна установка, утилізація теплоти, енергозбереження.

В газопаротурбинных установках температура отработанных газов после котла-утилизатора остается достаточно высокой 160-170°C. В статье рассматривается способ снижения этой температуры.

Ключевые слова: газопаротурбинная установка, утилизация теплоты, энергосбережение.

In gas turbine plants temperature of exhaust gases after recovery boiler remains high 160-170 ° C. The article reviews a way to reduce this temperature.

Keywords: gas steam plant, heat utilization, energy saving.

В газотурбінних установках температура відпрацьованих газів після котла-утилізатора залишається досить високою і складає біля 170-160 оС. Це обумовлено значною необоротністю процесів передачі тепла від відпрацьованих газів в котлі-утилізаторі. Зниження цієї необоротності і буде сприяти підвищенню термодинамічної ефективності ГПТУ за рахунок зменшення викидів теплоти з відпрацьованими газами в навколишнє середовище. З цієї причини сьогодні головну увагу у питанні підвищення ККД приділяють саме утилізації теплоти відпрацьованих газів.

Парогазова установка з котлом-утилізатором - найбільш перспективна і широко поширена в енергетиці парогазова установка, що відрізняється простотою і високою ефективністю виробництва електричної енергії. Ці ПГУ - єдині у світі енергетичні установки, які при роботі в конденсаційному режимі відпускають споживачам електроенергію з ККД 45-55%. Такий ККД досягається завдяки застосуванню котлів-утилізаторів двох і трьох тисків, які забезпечують достатню утилізацію відпрацьованих газів. Але разом із цим вони вимагають створення додаткових пароводяних контурів. На практиці це призводить, власне кажучи, до послідовного з'єднання двох і трьох котлів-утилізаторів різних тисків, тобто фактично одержують котловий комплекс, який потребує значних капітальних затрат.

Складність і велетенські габарити, а відповідно і вартість кіловата встановленої потужності таких бінарних енергетичних установок дуже висока, адже кожний додатковий контур це по суті додатковий котел-утилізатор з своїм барабаном-сепаратором і іншим теплосиловим обладнанням. Це обумовлено тим,

що бінарній газопаротурбінній технології подібно газотурбінній когенерації притаманна висока необоротність термодинамічних процесів утилізації теплоти відпрацьованих газів, що пов'язано з високою їх температурою на виході з котла-утилізатора. Останнє обумовлено великою різницею в водяних еквівалентних нагріваної води і охолоджувальних газів на економайзерній ділянці котла-утилізатора.

Разом з тим, сьогодні розроблено технологію ГПТУ з використанням надлишкової насиченої води в циклі яка дає можливість утилізації теплоти в котлі одного тиску. Вона реалізує спосіб поглибленої утилізації теплоти відпрацьованих газів енергоустановки в котлі-утилізаторі одного тиску до температури 110-130°C.

Якби вдалось зменшити необоротність термодинамічних процесів утилізації теплоти відпрацьованих газів в котлі-утилізаторі одного тиску, то ефективність роботи бінарної газотурбінної установки значно підвищилась при одночасному значному зменшенню її габаритів. Саме така модель роботи котла-утилізатора була запропонована і розроблена при розгляді цієї проблеми.

Одним з найбільш вагомих недоліків бінарної схеми газопаротурбінної установки, як це засвідчено вище, є висока необоротність термодинамічного процесу утилізації теплоти відпрацьованих газів в котлі-утилізаторі одного тиску (одноконтурній) бінарній схемі газотурбінної установки. Це наглядно

підтверджується аналізом діаграми процесу утилізації теплоти відпрацьованих газів в $[T-S]$ координатах, яка представлена на рисунку. На діаграмі представлено процес передачі теплоти в котлі-утилізаторі від потоку відпрацьованих газів до води, що подається живильним насосом від конденсатора і нагрівається з подальшим перетворенням її в перегріту пару. При цьому процес охолодження відпрацьованих газів зображено лінією 5б61, а процес нагріву води, її випаровування та перегрів отриманої пари зображено лінією абвг.

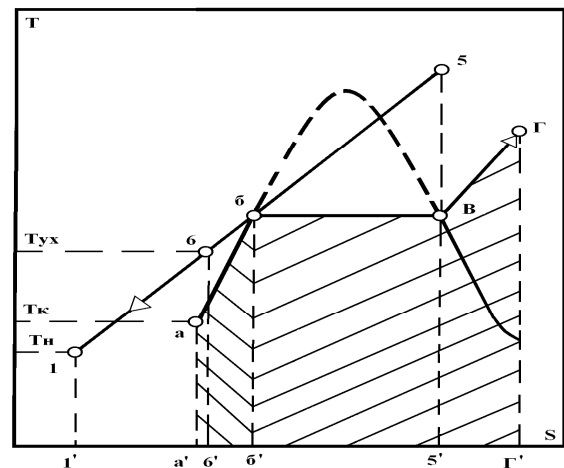


Рис.1. Процес передачі теплоти в котлі-утилізаторі від відпрацьованих газів на нагрів води, її випаровування і перегрів отриманої пари

З теорії теплопередачі відомо, що необоротність процесу передачі теплоти від одного до іншого тіла буде тим більшою, чим більше буде неспівпадання протікання процесів їх охолодження і нагрівання.

Це наглядно підтверджується наступними викладами. З рисунку 1 видно, що в граничному випадку для випару води, нагрітої до температури насичення

(процес б-в) та її перегріву (процес в-г) можливо використати тільки теплоту відпрацьованих газів, що характеризується площею 5-5'-б'-б-5, а теплоту, що залишилася, яка характеризується площею б'-б-1-1'-б' можна витратити тільки для нагрівання води (у граничному випадку до температури в крапці „б”).

Використання цієї теплоти буде тим повніше, чим ближче водяні еквіваленти відпрацьованих газів, що нагрівають і води, що нагрівається тобто при повному її використанні повинна виконуватися умова

$$W_{\text{ж}}=W_{\text{г}},$$

де $W_{\text{ж}}$ – водяний еквівалент нагріваємої води в котлі-утилізаторі;

$W_{\text{г}}$ – водяний еквівалент гріючої газопарової суміші в котлі-утилізаторі

$$W_{\text{ж}}=C_{\text{ж}} \cdot G_{\text{ж}}$$

$$W_{\text{г}}=C_{\text{рг}} \cdot G_{\text{г}}$$

де $C_{\text{ж}}$, $C_{\text{рг}}$ – ізобарні теплоємності відповідно води, і газопарової суміші.

$C_{\text{ж}}$, $C_{\text{рг}}$ – секундні витрати води, і газопарової суміші.

Якщо водяні еквіваленти віднести до одного кілограму газопарової суміші в котлі-утилізаторі, то їхні вирази приймуть вигляд

$$W_{\text{ж}}=C_{\text{ж}}$$

$$W_{\text{г}}=C_{\text{рг}}$$

Враховуючи, що ізобарна теплоємність відпрацьованих газів газопарової суміші складає біля $C_{\text{рг}} \approx 1,26 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$, а відношення $G_{\text{ж}}/G_{\text{г}} \approx 0,121$, то

$$W_{\text{г}}=1,26 \text{ кДж} \cdot \text{с/К};$$

$$W_{\text{ж1}}=4,18 \cdot 0,121=0,52 \text{ кДж} \cdot \text{с/К}.$$

З отриманих відносин видно, що водяні еквіваленти відпрацьованих газів і води в котлі-утилізаторі відрізняються в 2,4 рази. З цієї причини теплота, що забирається водою на ділянці її нагріву до температури насичення (після економайзера котла-утилізатора) в 2,42 рази менше теплоти, яка наявна у відпрацьованих газах. Внаслідок цього процесу нагрівання води а-б супроводять великі необоротні втрати, які істотно знижують кількість утилізованої теплоти відпрацьованих газів, що виходять з газопаротурбінної установки.

Якби вдалося збільшити витрату води через економайзер котла-утилізатора в порівнянні з кількістю пари, що генерується, то протікання процесу а-б наблизилося б до процесу б-1 (дивись рис. 2) і кількість утилізованої теплоти збільшилося б. Як свідчать виконані розрахунки, для повної утилізації теплоти відпрацьованих газів витрата води в цьому випадку через економайзер повинна перевищувати в 2,42 рази її кількість, випаровану у випарнику котла-утилізатора.

Але при цьому слід пам'ятати, що отримане необхідне збільшення витрати води на економайзерній ділянці в 2,42 рази порівняно з виробництвом пари є умовним і в кожному конкретному випадку залежить від показників відпрацьованих газів, які визначаються параметрами газотурбінного двигуна. Крім того, на величину збільшеної кількості води на економайзерній ділянці котла-утилізатора значний вплив утворює значення величини тиску та температури перегрітої пари.

Як показали дослідження, найбільш ефективно і повне використання надлишкової насиченої води здійснюється при її відборі на виході економайзера котла-утилізатора і використання її теплоти для різних потреб. Зокрема для опалення або гарячого водопостачання або для утворення з неї насиченої пари з послідовним використанням її в проточній частині парової турбіни. Разом з тим слід зазначити, що найбільший ефект досягається при використанні насиченої надлишкової води в циклі бінарної газопаротурбінної установки для утворення

водяної пари з послідуєчим використанням її в проточній частині парової турбіни.

Список літератури: 1. *Дикий М.О.*, Спосіб утилізації теплоти газів, що відпрацювали, комбінованої енергетичної установки [Текст] : / Дикий М.О., Уваричев О.М., Патент України №19902 М.П.К. 7 F01K21/02. 25.12.1997 Бюл. № 6/1997.2. *Дикий Н. А.*, Судовые газопаротурбинные установки. [Текст] : учеб. / Дикий Н. А., А. В. Белов, – Санкт-Петербург: Судостроение, 1978. – 216 с.3. *Арсеньев, Л. В.*, Параметры газопаротурбинных установок с впрыском воды в компрессор [Текст] : учеб. / Арсеньев, Л. В., Беркович, А. Л. – Тепловая энергетика, 1996. – №6. – 18-22 с.

Поступила в редколлегию 24.04.2011

УДК 621.175-52

Г.И. КАНЮК, док. техн. наук, проф., зав. каф., УИПА, Харьков

А.Р. МИСЬКО, асс., УИПА, Харьков

И.П. ЛАПТИНОВ, асс., УИПА, Харьков

Д.Д. СТЕБЛЯНКО, асс., УИПА, Харьков

А.Н. ТОПЧИЙ, асс., УИПА, Харьков

СИНТЕЗ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Сформульовано завдання створення енергозберігаючої системи автоматичного керування режимами роботи конденсаторів парових турбін. Розроблена загальна математична модель стаціонарного режиму роботи конденсатора. Сформований алгоритм еталонної програми функціонування конденсатора при заданих значеннях витрат пари і конденсату.

Ключові слова: енергозберігаюча система автоматичного керування, конденсатор.

Сформулировано задание создания энергосберегающей системы автоматического управления режимами работы конденсаторов паровых турбин. Разработана общая математическая модель стационарного режима работы конденсатора. Сформирован алгоритм эталонной программы функционирования конденсатора при заданных значениях расходов пара и конденсата.

Ключевые слова: энергосберегающая система автоматического управления, конденсатор.

The task of creation of the energysaving system of automatic control the modes of operations of condensers of steam-turbines is formulated. The general mathematical model of the stationary mode of operations of condenser is developed. The algorithm of the standard program of functioning of condenser is formed at the set values of charges of steam and runback.

Keywords: energysaving system of automatic control, condenser.

Введение

В работе [1] отмечено, что в настоящее время практически исчерпаны резервы повышения экономичности паротурбинных электростанций за счет повышения начальных параметров, усовершенствования систем регенеративного подогрева питательной воды и промежуточного перегрева пара. Вместе с тем, обострение проблем в топливно-энергетическом комплексе и ухудшение экологической ситуации диктует необходимость системного подхода к решению

проблем повышения экономичности и экологических характеристик ТЭС и АЭС. В связи с этим, в энергетической отрасли большое внимание стало уделяться низкопотенциальным комплексам электростанций как структурных единиц энергоблоков, оказывающих непосредственное влияние на экономичность их эксплуатации за счет влияния на конечные параметры пара и на расход электроэнергии для собственных нужд. По данным Запорожской АЭС, недовыработка электроэнергии из-за плохих условий теплообмена в конденсаторах ежегодно составляет порядка 1,5 млрд. кВт·ч [2].

Поэтому обеспечение оптимальных режимов работы конденсационных установок, минимизация всех видов энергетических потерь в них предоставляет собой важную и актуальную научно-техническую проблему. Эта проблема может быть решена путем создания энергосберегающих систем автоматического управления режимами работы систем низкопотенциального комплекса, в частности – конденсаторов паровых турбин.

Характеристика объекта

Следуя общим принципам энергосберегающего управления технологическими объектами, изложенными в [3], конденсатор, как объект управления, обеспечивающий конденсацию отработанного в турбине пара, представим следующим образом (рис.1).

Вектор нерегулируемых входных параметров $\vec{X}_{вх}^{нерег}$ включает номинальные для определенного режима работы значения массового расхода ($G_n^{вх}$), давления ($P_n^{вх}$) и температуры ($t_n^{вх}$) пара, входящего в конденсатор из последней ступени турбины.

Векторы регулируемых параметров $\vec{X}_{вх}^{рег1}$ и $\vec{X}_{вх}^{рег2}$ – соответствующие значения параметров охлаждающей воды ($G_с^{вх}, P_с^{вх}, t_с^{вх}$) и пара, откачиваемого эжекторами ($G_n^э, P_n^э, t_n^э$).

При этом вектор внутренних параметров, по которым может непосредственно осуществляться управление:

$$\vec{X}_{вн} \{G_с^{вх}; G_n^э\}.$$

Вектор внутренних параметров $\vec{X}_{вн}$ может быть представлен средними значениями давления ($P_{пк}^{ср}$), температуры ($t_{пк}^{ср}$) и скорости циркуляции пара ($U_{пк}^{ср}$) в паровом пространстве конденсатора, а также средним значением количества теплоты ($Q_{ср}$), отдаваемого паром охлаждающей воде через стенки трубных пучков.

Вектор выходных параметров $\vec{X}_{вых}$ представляет собой значение массового расхода образующегося конденсата ($G_к$).

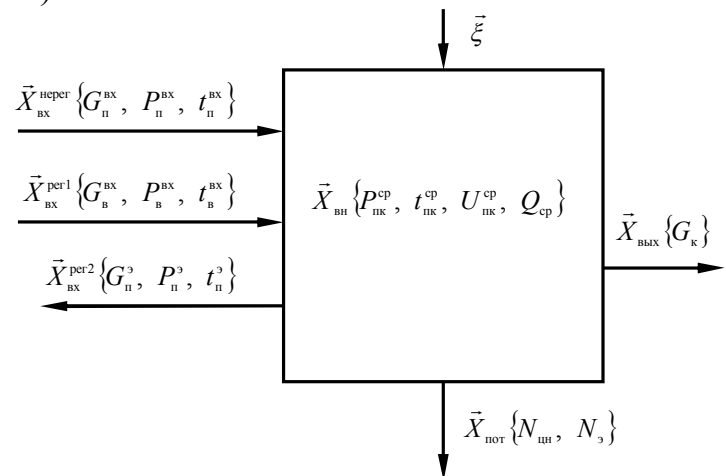


Рис. 1. Конденсатор, как объект управления

Вектор потерь $\vec{X}_{пот}$ - значения мощностей, потребляемых циркуляционным насосом ($N_{цн}$) и эжекторами ($N_{э}$).

Описание процесса работы конденсатора (стационарный режим).

Из последней ступени ЦНД турбины в конденсатор поступает отработанный пар (после цикла расширения) с низкими значениями давления (порядка $0,03 \cdot 10^5$ Па) и температуры (порядка 24°C), но в большом количестве (массовый расход порядка 574 т/ч). Большое значение расхода обеспечивает высокую потенциальную мощность пара, но низкие значения давления и температуры не дают возможности её полезно использовать (поэтому эта мощность является потерянной и ее значение соизмеримо с полезной мощностью энергоблока).

В стационарном режиме работы конденсатора массовый расход поступающего отработанного пара равен сумме массовых расходов образующегося конденсата и расхода пара, удаляемого из конденсатора эжекторами для поддержания заданного значения вакуума:

$$G_n^{ex} = G_k + G_n^3$$

Эжекторы за счет энергии рабочего потока пара, отбираемого из рабочих ступеней турбины, отсасывают часть пара из конденсатора для поддержания необходимого значения давления (вакуума). Вакуум необходим для того, чтобы обеспечить непрерывное поступление отработанного пара из турбины в конденсатор (иначе номинальная работа турбоустановки прекратится).

Соотношение расходов инжектируемого (G_n^3) и рабочего (G_p) потоков пара определяется коэффициентом инжекции:

$$\omega = G_n^3 / G_p$$

Коэффициент инжекции может быть представлен, в соответствии с экспериментальными характеристиками эжектора, как функция отношения давлений сжатого потока P_c (на выходе из эжектора) и давления инжектируемого пара (практически – это среднее значение давления в паровом пространстве конденсатора $P_{нк}^{cp}$):

$$\omega = f(P_c, P_{нк}^{cp})$$

В линеаризованном варианте эта функция может быть представлена в виде:

$$\omega = C_{\omega pc} P_c + C_{\omega pk} P_{нк}^{cp},$$

где $C_{\omega pc}$ и $C_{\omega pk}$ - соответствующие коэффициенты линеаризации.

В свою очередь, давление на выходе из эжектора P_c является функцией давлений (или расходов) рабочего и инжектируемого потоков. В линеаризованном варианте эта функция может быть представлена в виде:

$$P_c = C_{pgp} G_p + C_{pg3} G_n^3,$$

где C_{pgp} и C_{pg3} - соответствующие коэффициенты линеаризации.

Тогда

$$\omega = C_{\omega pc} C_{pgp} G_p + C_{\omega pc} C_{pg3} G_n^3 + C_{\omega pk} P_{нк}^{cp} = C_{\omega gp} G_p + C_{\omega g3} G_n^3 + C_{\omega pk} P_{нк}^{cp},$$

и

$$G_n^3 = \omega G_p = C_{\omega gp} G_p^2 + C_{\omega g3} G_p G_n^3 + C_{\omega pk} G_p P_{нк}^{cp},$$

или

$$G_{нэ} = \frac{C_{\omega gp} G_p^2 + C_{\omega pk} G_p P_{нк}^{cp}}{1 - C_{\omega gз} G_p}.$$

Линеаризация этой функции может дать выражение:

$$G_{нэ} = C_{нэ}^p \cdot G_p + C_{нэ}^{пнк} \cdot P_{нк}^{cp}$$

с соответствующими значениями коэффициентов линеаризации.

Производительность эжектора (расход $G_{нэ}$) может регулироваться расходом рабочего потока пара G_p (путем изменения положения регулирующей задвижки на трубопроводе рабочего потока). При этом расход рабочего потока может быть представлен в виде линейной функции положения регулирующей задвижки (линейного) X_{pp} или углового ϕ_{pp} :

$$G_p = C_{gp}^x \cdot X_{pp};$$

$$G_p = C_{gp}^\phi \cdot \phi_{pp},$$

где

$$C_{gp}^x = G_p^{\max} / X_{pp}^{\max};$$

$$C_{gp}^\phi = G_p^{\max} / \phi_{pp}^{\max}.$$

Тогда функция расхода инжестируемого пара может быть представлена в виде:

$$G_{нэ} = C_{нэ}^x X_{pp} + C_{нэ}^{пнк} P_{нк}^{cp};$$

$$G_{нэ} = C_{нэ}^\phi \phi_{pp} + C_{нэ}^{пнк} P_{нк}^{cp},$$

где

$$C_{нэ}^x = C_{нэ}^p C_{gp}^x;$$

$$C_{нэ}^\phi = C_{нэ}^p C_{gp}^\phi.$$

Для конденсации пара в конденсаторе при заданном значении давления $P_{нк}^{cp}$ его нужно охладить до значения температуры конденсации:

$$t_{nn}^{cp} = f(P_{нк}^{cp})$$

Для этого в конденсатор подается охлаждающая вода циркуляционным насосом, которая, проходя по внутренним поверхностям охлаждающих пучков, обеспечивает необходимый теплообмен.

При этом поверхностная плотность теплового потока, передаваемого от пара к наружным поверхностям трубных пучков, проходящего через стенки трубных пучков и отдаваемого внутренними стенками трубных пучков охлаждающей воде, определяется выражениями:

$$g = \alpha_n^{cp} (t_{нк}^{cp} - t_{cm}^{cp});$$

$$g = \frac{t_{cm}^{cp} - t_{cm}^{cp}}{\sum_{i=1}^n (\delta_i / \lambda_i)};$$

$$g = \alpha_s^{cp} (t_{cm}^{cp} - t_s),$$

где

$$\alpha_n^{cp} = C_{ан}^{tn} t_{nn}^{cp} + C_{ан}^{tn} t_{cm}^{cp},$$

и

$$\alpha_{\epsilon}^{cp} = C_{ab}^g G_b -$$

линеаризованные функции средних коэффициентов теплоотдачи от пара к внешним стенкам трубных пучков и от внутренних стенок трубных пучков к охлаждающей воде;

$t_{cm}^{cp'}$ и $t_{cm}^{cp''}$ - средние значения температур внешних и внутренних поверхностей трубных пучков;

t_{nn}^{cp} - среднее значение температуры насыщенного пара (при котором происходит его конденсация);

δ_i и λ_i - толщины и теплопроводности слоев стенок трубных пучков (с учетом возможных покрытий и отложений);

$C_{an}^{tn}, C_{an}^{tcc}, C_{ab}^g$ - соответствующие коэффициенты линеаризации;

G_b - расход охлаждающей воды.

При этом массовый расход образующегося конденсата:

$$G_k = C_{gk}^q q,$$

где

$$C_{gk}^q = A_k / r;$$

A_k - площадь поверхности трубных пучков;

r - удельная теплота парообразования (конденсации) при соответствующих значениях давления и температуры насыщения P_{nn}^{cp} и t_{nn}^{cp} .

Циркуляционный насос, подавая в конденсатор охлаждающую воду, развивает полезную гидравлическую мощность:

$$N_b = G_{\epsilon} P_{\epsilon} / \rho_{\epsilon} = Q_{\epsilon} P_{\epsilon},$$

где Q_{ϵ} - объемный расход охлаждающей воды (подача циркуляционного насоса);

ρ_{ϵ} - плотность воды;

P_{ϵ} - давление, развиваемое насосом.

Давление, развиваемое циркуляционным насосом, должно обеспечивать компенсацию гидравлического сопротивления конденсатора ($\Delta P_{\epsilon k}$) и циркуляционного трубопровода ($\Delta P_{\epsilon ym}$):

$$P_{\epsilon} = \Delta P_{\epsilon k} + \Delta P_{\epsilon ym}$$

Гидравлическое сопротивление конденсатора:

$$\Delta P_{\epsilon 1} = z(\Delta P_{\epsilon 1} + \Delta P_{\epsilon 2}) + (z + 1)\Delta P_{\epsilon 3},$$

где Z – число ходов воды;

$$\Delta P_{\epsilon 1} = \lambda_{mp} \frac{L}{d_2} \frac{\rho_{\epsilon} U_{\epsilon}^2}{2} = \lambda_{mp} \frac{L}{d_2} \frac{\rho_{\epsilon} Q_{\epsilon}^2}{2S_2^2} -$$

сопротивление конденсаторных трубок;

$$\Delta P_{\epsilon 2} = \xi_2 \rho_{\epsilon} (U_{\epsilon} - U_{\kappa})^2 -$$

сопротивление на входе и выходе охлаждающей воды из трубной системы;

$$\Delta P_{\epsilon 3} = \xi_3 \rho_{\epsilon} \frac{U_{\epsilon x}^2}{2} -$$

сопротивление водяных камер;

$\lambda_{тр}$ - коэффициент гидравлического трения, определяемый как функция числа Рейнольдса;

L и d_2 - длина и диаметр конденсаторных трубок;

$U_6 = Q_6 / S_2$ - скорость воды;

ζ_2 - коэффициент, зависящий от способа крепления трубок (при сальниковом креплении $\zeta_2 = 1,5$; при двусторонней развальцовке $\zeta_2 = 1$; при смешанном способе крепления трубок $\zeta_3 = 1,25$);

U_k - скорость воды в камерах, оцениваемая как $(0,15 - 0,30)U_6$;

$U_{вх} = U_k$ - скорость воды на входе в каждую камеру;

ζ_3 - коэффициент гидравлического сопротивления входа воды в камеру ($\zeta_3 \approx 1$).

Функция гидравлического сопротивления конденсатора может быть представлена в виде:

$$\Delta P_c = C_{PQ} Q_6^2,$$

или, в линеаризованном варианте,

$$\Delta P_c = C'_{PQ} Q_6,$$

где C_{PQ} и C'_{PQ} - соответствующие коэффициенты.

Сопротивление циркуляционного трубопровода:

$$\Delta P_{ym} = \left(\lambda_{ym} \frac{L_{ym}}{d_{ym}} + \sum \zeta_{мym} \right) \frac{\rho_6}{2} \frac{Q_6^2}{S_{ym}^2} + \zeta_{p3} \frac{\rho_6}{2} \frac{Q_6^2}{S_{p3}^2},$$

где λ_{ym} - коэффициент гидравлического трения в циркуляционном трубопроводе;

L_{ym} и d_{ym} - длина и диаметр циркуляционного трубопровода;

$\sum \zeta_{мym}$ - суммарный коэффициент местных сопротивлений циркуляционного трубопровода;

S_{ym} - площадь поперечного сечения циркуляционного трубопровода;

ζ_{p3} - коэффициент местного сопротивления регулирующей задвижки;

$$S_{p3} = S_{p3}(X_{p3}),$$

или

$$S_{p3} = S_{p3}(\varphi_{p3}) -$$

площадь проходного сечения регулирующей задвижки.

Сопротивление циркуляционного трубопровода может быть представлено в виде:

$$\Delta P_{ym} = \left\{ C_{ym} + 0,25 \rho_6 \zeta_{p3} \left[S_{p3}(X_{p3}) \right] / \left[S_{p3}(X_{p3}) \right]^2 \right\} Q_6^2,$$

где

$$C_{ym} = 0,25 \left(\lambda_{ym} \frac{L_{ym}}{d_{ym}} + \sum \zeta_{мym} \right) \rho_6 / S_{ym}^2;$$

$\varsigma_{p3}[S_{p3}(X_{p3})]$ - функция коэффициента гидравлического сопротивления регулирующей задвижки от площади проходного сечения регулируемой задвижки;

$S_{p3}(X_{p3})$ - функция площади проходного сечения регулирующей задвижки от ее положения (линейного X_{p3} или углового φ_{p3}).

В линеаризованном варианте:

$$\Delta P_{ym} = C_{px}^{ym} X_{p3} + C_{pq}^{ym} Q_{\epsilon},$$

где C_{px}^{ym} и C_{pq}^{ym} - коэффициент линеаризации.

Если насос работает при неизменном положении регулирующей задвижки (в частности, при полностью открытой задвижке), то:

$$\Delta P_{ym} = (C_{px}^{ym})' Q_{\epsilon},$$

При пренебрежении геометрической высотой подъема циркуляционной воды:

$$\Delta P_{\epsilon} = \Delta P_{ym} + \Delta P_{\epsilon},$$

и функция полезной мощности циркуляционного насоса принимает вид:

$$N_{\epsilon} = Q_{\epsilon} \Delta P_{ym} = (C_{px}^{ym} X_{p3} + C_{pq}^{ym} Q_{\epsilon}) Q_{\epsilon},$$

В линеаризованном варианте:

$$N_{\epsilon} = C_{px}^{ym} X_{p3} + C_{NQ}^{ym} Q_{\epsilon},$$

или, при полностью открытой задвижке (при неизменном положении задвижки):

$$N_{\epsilon} = (C_{NQ}^{ym})' Q_{\epsilon},$$

Функция потребляемой мощности циркуляционного насоса:

$$N_{\epsilon}^{номп} = N_{\epsilon} / \eta_{\epsilon n},$$

где

$$\eta_{\epsilon n} = \eta_{\epsilon n}(Q_{\epsilon}, n_{\epsilon n}) -$$

функция КПД циркуляционного насоса.

$n_{\epsilon n}$ - частота вращения насоса.

В свою очередь:

$$Q_{\epsilon} = Q_{\epsilon}(n_{\epsilon n}) -$$

функция зависимости подачи насоса от частоты вращения.

В линеаризованном варианте:

$$Q_{\epsilon} = C_{Qn}^{\epsilon n}(n_{\epsilon n});$$

$$\eta_{\epsilon n} = C_{Q\eta}^{\epsilon n} \cdot Q_{\epsilon} + C_{\eta n}^{\epsilon n} n_{\epsilon n},$$

или

$$\eta_{\epsilon n} = (C_{Q\eta}^{\epsilon n} \cdot C_{Qn}^{\epsilon n} + C_{\eta n}^{\epsilon n}) n_{\epsilon n},$$

и линеаризованная функция мощности насоса:

$$N_{\epsilon n}^{номп} = C_{NX}^{\epsilon n} \cdot X_{p3} + C_{nQ}^{\epsilon n} n_{\epsilon n}.$$

При поступлении в конденсатор отработанного пара, охлаждающей воды, в процессе поддержания вакуума и образования конденсата тепловой баланс конденсатора в стационарном режиме описывается соотношением:

$$Q_n^{\epsilon x} = Q_n^{\epsilon x l} + Q_{конд} + Q_{нэ},$$

ИЛИ

$$\Phi_n^{ex} = \Phi_n^{охл} + \Phi_{конд} + \Phi_{нэ} ,$$

где Q_n^{ex} , Φ_n^{ex} , $Q_n^{охл}$, $\Phi_n^{охл}$, $Q_{конд}$, $\Phi_{конд}$, $Q_{нэ}$, $\Phi_{нэ}$ - соответственно, количества теплоты и тепловые потоки, которые содержатся в паре, входящем в конденсатор; отдаваемые паром охлаждающей воде; в отводимом конденсате; в паре, отсасываемом эжекторами.

С учетом того, что в стационарном режиме соответствующие тепловые потоки определяются соотношениями:

$$\Phi_n^{ex} = C_{np}^{ex} (t_n^{ex} - t_{нк}^{ex}) G_n^{ex} ;$$

$$\Phi_n^{охл} = q A_k ;$$

$$\Phi_{конд} = C_{pконд} G_k (t_{нк}^{cp} - t_{конд}^{cp}) ;$$

$$\Phi_{нэ} = C_{pn}^k G_{нэ} (t_{нк}^{cp} - t_c) ,$$

уравнение теплового баланса может быть представлено в виде:

$$C_{pn}^{ex} t_n^{ex} G_n^{ex} - C_{pn}^{ex} t_{нк}^{cp} G_n^{ex} = q A_k + C_{pконд} G_k t_{нк}^{cp} - C_{pконд} G_k t_{конд}^{cp} + C_{pn}^k G_{нэ} t_{нк}^{cp} - C_{pn}^k G_{нэ} t_c ,$$

ИЛИ

$$t_{нк}^{cp} (C_{pn}^{ex} G_n^{ex} + C_{pконд} G_k + C_{pn}^k G_{нэ}) = (C_{pn}^{ex} t_n^{ex} G_n^{ex} + C_{pконд} G_k t_{конд}^{cp} + C_{pn}^k G_{нэ} t_c) - q A_k ;$$

Общая стационарная математическая модель конденсатора.

Из моделей отдельных рабочих процессов и элементов конденсатора, представленных в п.2, может быть составлена общая математическая модель стационарного режима работы конденсатора:

$$G_n^{ex} = G_k + G_n^э ;$$

$$G_n^э = C_{пэ}^x X_{пэ}^э + C_{пэ}^{pnk} P_{нк}^{cp} ;$$

$$t_{nn}^{cp} = C_{пп}^{cp} P_{нк}^{cp} + C_{пп}' ;$$

$$q = \alpha_n^{cp} (t_{nn}^{cp} - t_{cm}')$$

$$q = (t_{cm}' - t_{cm}'') / \sum_{i=1}^n (\delta_i / \lambda_i)$$

$$q = \alpha_{\epsilon}^{cp} (t_{cm}'' - t_{\epsilon}') ,$$

$$\alpha_n^{cp} = C_{ан}^{th} t_{nn}^{cp} + C_{ан}^{tcc} t_{nn}^{cp}'$$

$$\alpha_{\epsilon}^{cp} = C_{\alpha\epsilon}^G \rho_{\epsilon} Q_{\epsilon}$$

$$G_k = C_{qk}^q q$$

$$N_{\epsilon} = Q_{\epsilon} P_{\epsilon} = C_{nx}^{um} X_{пэ}^{un} + C_{nq}^{um} Q_{\epsilon}$$

$$N_{un}^{номп} = N_{\epsilon} / \eta_{un} = C_{nx}^{um} X_{пэ}^{un} + C_{nq}^{un} n_{un} ,$$

$$Q_{\epsilon} = C_{q\epsilon}^{xp3} X_{пэ}^{un} + C_{q\epsilon}^n n_{un} ,$$

$$t_{нк}^{cp} (C_{pn}^{ex} G_n^{ex} + C_{pконд} G_k + C_{pn}^k G_{нэ}) = (C_{pn}^{ex} t_n^{ex} G_n^{ex} + C_{pконд} G_k t_{конд}^{cp} + C_{pn}^k G_{нэ} t_c) - q A_k ;$$

На основании общей математической модели конденсатора, представленной в п.3, может быть сформирован алгоритм эталонной программы функционирования конденсатора при заданных значениях расходов пара $(G_n^{ex})_3$ и конденсатора $(G_k)_3$ (рис. 2).

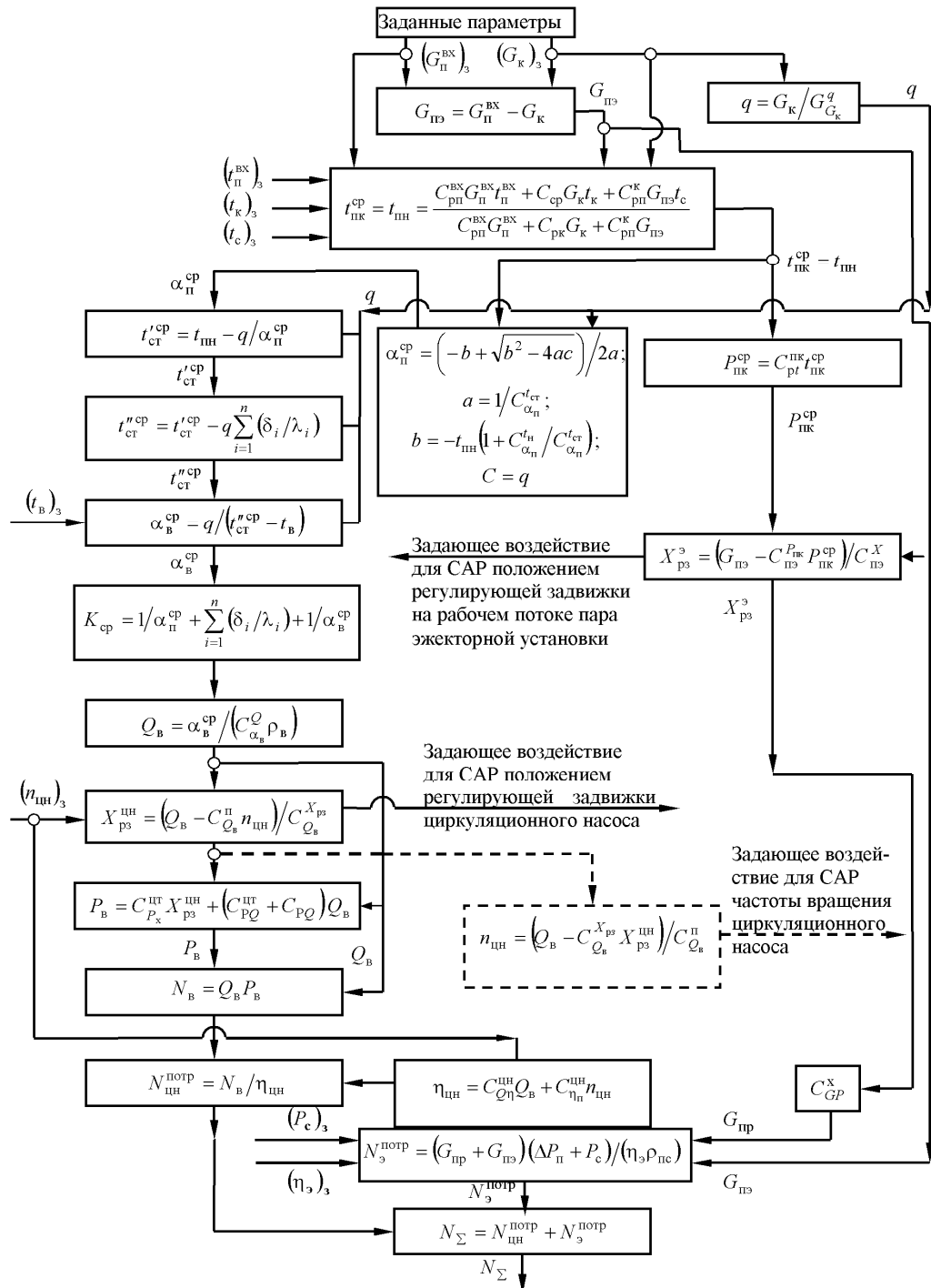


Рис. 2. Алгоритм формирования заданной программы работы конденсатора и задающих воздействий для САР расходов эжектируемого пара и охлаждающей воды

Формирование заданной программы (заданного режима) работы конденсатора (эталонная модель).

Эта программа может формировать рациональные задающие воздействия для САР положением регулирующей задвижки на рабочем потоке пара эжекторной

установки, задвижки циркуляционного насоса и привода циркуляционного насоса.

При этом общая структура (функциональная схема) энергосберегающей САУ режимами работы конденсатора может иметь вид, представленный на рис. 3.

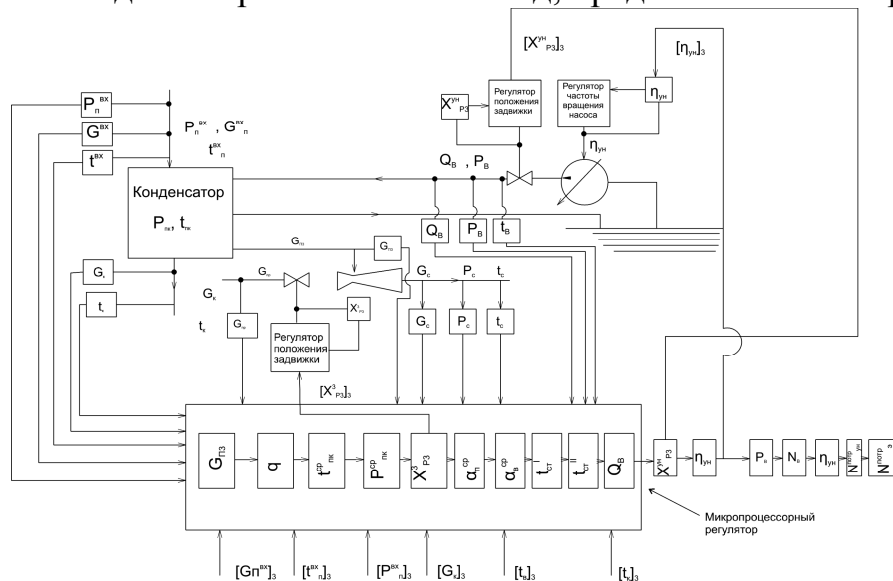


Рис. 3. Общая функциональная схема энергосберегающей САУ режимами работы конденсатора

В случае отклонений основных параметров (G_n^{ex} и G_k) от заданных значений программа вычисления отклонений задающих воздействий, построенная в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 2, выполнит соответствующие корректировки задающих воздействий (рис. 4). При этом эталонные значения и отклонения параметров могут использоваться в системе технической диагностики конденсатора.

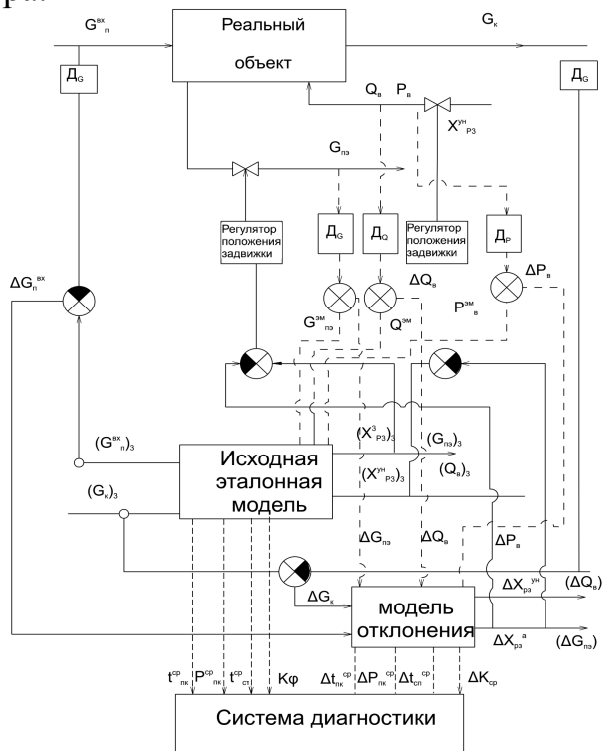


Рис. 4. Функциональная схема энергосберегающей САУ режимами работы конденсатора с использованием эталонной модели и модели отклонений

Выводы

1. Сформулирована задача создания энергосберегающей системы автоматического управления режимами работы конденсаторов паровых турбин, обеспечивающей заданное соотношение расходов поступающего пара и конденсата при минимальных затратах мощности эжекторной установки и циркуляционного насоса.

2. Разработана математическая модель рабочих процессов конденсатора, учитывающая процессы теплообмена и конденсации пара, работы парозежекторной установки и циркуляционного насоса.

3. Разработана общая функциональная схема энергосберегающей САУ режимами работы конденсатора с использованием эталонной модели объекта и модели отклонений основных параметров от заданных значений, способная автоматически формировать оптимальные задающие воздействия на регуляторы производительности циркуляционного насоса и эжекторной установки с целью обеспечения минимальных потерь мощности.

4. Разработан алгоритм формирования заданной программы работы конденсатора и задающих воздействий для САР расходов эжектируемого пара и охлаждающей воды.

5. Предложена структура энергосберегающей САУ режимами работы конденсатора с использованием эталонной модели, формирующей заданный режим работы и модели отклонений, обеспечивающей коррекцию задающих воздействий для САР расходов пара и охлаждающей воды при отклонениях от заданного режима.

6. Дальнейшие задачи в этом направлении заключаются в следующем:

- подбор и аппроксимация экспериментальных характеристик рабочих процессов и элементов конденсатора, необходимых для замыкания и конкретизации разработанной математической модели;
- получение функции мощности энергетических потерь, затрачиваемых на функционирование конденсатора (мощность, потребляемая эжекторной установкой и циркуляционным насосом) и исследование ее на экстремум (на минимум);
- конкретизация предложенной общей структуры энергосберегающей САУ режимами работы конденсатора с целью минимизации суммарных затрат мощности.

Список литературы: 1. *Муравьев В.И.* Разработка и анализ технических решений по рационализации конденсационных систем низкопотенциального комплекса ТЭС и АЭС: монография [Текст] / В.И. Муравьев, Д.В. Михайский, М.И. Суханов и др. – Харьков: ХУВС, 2010. – 122 с. 2. *Артюх С.Ф.* Анализ резервов энергосбережения и возможностей повышения технико-экономической эффективности насосных установок низкопотенциального комплекса (НПК) тепловых и атомных электростанций [Текст] / С.Ф. Артюх, И.Г. Шелепов, Г.И. Канюк и др. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 57'2005. – Харьков. – С. 32-42. 3. *Канюк Г.И.* Общие принципы энергосберегающего управления технологическими объектами [Текст] / Г.И. Канюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2010. – № 4/3 (46). – С. 42 – 44.

Поступила в редколлегию 19.05.2011

О.И. РОЗНОВЕЦ, асп., Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова

Л.А. ВОЛОЩУК, канд. техн. наук, доц., Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСКУЭ

Розглядається проблема автоматизації обліку споживання електроенергії. Запропонована структура АСКОЕ на основі застосування технологій побудови розподілених інформаційних систем з базами даних. Описана впроваджена на підприємствах м. Одеси та області АСКОЕ «SmartLink».

Ключові слова: облік електроенергії, АСКОЕ, база даних, розподілена система.

Рассматривается проблема автоматизации учета потребления электроэнергии. Предложена структура АСКУЭ на основе применения технологий построения распределенных информационных систем с базами данных. Описана внедренная на предприятиях г. Одессы и области АСКУЭ «SmartLink».

Ключевые слова: учет электроэнергии, АСКУЭ, база данных, распределенная система.

In given article the problem of automation of the electric power consumption account is considered. The structure of automated system of the commercial account of the electric power on the basis of technologies of construction of the distributed information systems with databases is offered. Introduced on a number of the Odessa region enterprises the automated system of the commercial account of the electric power "SmartLink" is described.

Key words: electric power account, automated system of the commercial account of the electric power, database, distributed system.

Введение

В условиях охватившего мир экономического кризиса перед многими предприятиями и организациями остро встал вопрос экономии средств и ресурсов. Одним из направлений решения данной задачи является точный, достоверный и оперативный контроль и учет электроэнергии.

Для многих современных предприятий характерной является распределенная структура с развитой сетью подразделений и филиалов, при этом структурные подразделения тесно связаны с головным предприятием функционально и информационно. Учет и контроль потребления электроэнергии предприятием во всех его подразделениях, в том числе удаленных, с возможностью выбора оптимальных режимов энергопотребления приобретает особую важность.

Автоматизация процесса учета электроэнергии предполагает создание территориально-распределенной сетевой аппаратно-программной инфраструктуры компьютерной сети, включающей многофункциональные счетчики электроэнергии. Эта сеть должна максимально адекватно и оптимально отображать схему расположения точек учета электроэнергии на предприятии и учитывать централизованное управление данными энергопотребления с

возможностью их интеллектуального анализа для принятия решения о выборе энергосберегающего режима работы всех подразделений предприятия.

Анализ функций и структуры современных средств автоматизации учета электроэнергии

В настоящее время широко внедряются автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) как системы сбора коммерческих данных с многофункциональных счетчиков электроэнергии [1], созданные на базе современных средств вычислительной техники и оборудования для измерения и передачи информации.

В функции АСКУЭ входят [2]:

- централизованный контроль и измерение технологических параметров электроснабжения, в том числе расходы электроэнергии, токи, напряжения, мгновенные мощности и др.;
- формирование и выдача данных оперативному персоналу;
- подготовка и передача данных в смежные и вышестоящие системы управления;
- ведение базы данных по договорам, потребителям, режимам электропотребления, расходам;
- подготовка информации о физических объемах реализации электроэнергии в соответствии с тарифными планами.

В структуре АСКУЭ в общем случае можно выделить четыре уровня [3] (рис. 1):

1) первичные измерительные приборы (ПИП) с телеметрическими или цифровыми выходами, осуществляющие непрерывно или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров энергоучета (количество электроэнергии, мощность, токи, частоту, напряжение) по точкам учета;

2) устройства сбора и подготовки данных (УСПД), специализированные измерительные системы или многофункциональные программируемые преобразователи со встроенным программным обеспечением, осуществляющие в заданном цикле интервала усреднения круглосуточный сбор измерительных данных с территориально распределенных ПИП, накопление, обработку и передачу этих данных на верхние уровни;

3) персональный компьютер (ПК) или сервер центра сбора и обработки данных со специализированным программным обеспечением АСДУЭ (автоматизированная система дифференцированного учета электроэнергии), осуществляющий сбор информации с УСПД (или группы УСПД), итоговую обработку этой информации как по точкам учета, так и по их группам (подразделениям и объектам предприятия), документирование и отображение данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений (управления) оперативным персоналом службы главного энергетика и руководством предприятия;

4) сервер центра сбора и обработки данных со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющий сбор информации с ПК и/или группы серверов центров сбора и обработки нижестоящего уровня, дополнительное агрегирование и структурирование информации по группам

объектов учета, документирование и отображение данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений персоналом службы главного энергетика и руководством территориально распределенных средних и крупных предприятий или энергосистем, ведение договоров на поставку энергоресурсов и формирование платежных документов для расчетов за энергоресурсы.

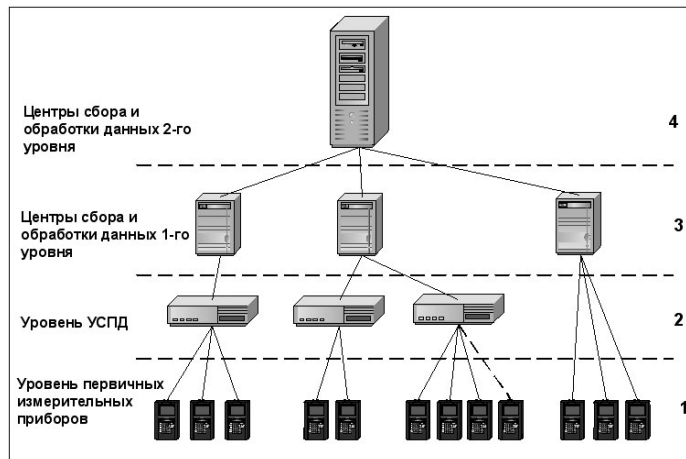


Рис.1. Структурная иерархия АСКУЭ

Взаимодействие приборов учета с программным обеспечением АСКУЭ

Для связи одного прибора учета с компьютером в случае, если расстояние между ними невелико (до 100 метров) может использоваться телефонный кабель. Если несколько приборов учета установлены недалеко друг от друга, их подключают к одному кабелю-шине, используя мультиплексор. При этом достигается существенная экономия на прокладке кабелей, а также увеличивается скорость передачи данных.

Если на удаленном объекте, находящемся на расстоянии нескольких километров и более от компьютера, установлен один прибор учета, то к нему можно подключить модем и осуществлять сбор информации с него по коммутируемому или выделенному каналу связи. Если же на удаленном объекте установлено несколько приборов учета, то они подключаются к мультиплексору, а тот, в свою очередь, к модему и ближайшему телефону. Компьютер также

подключается к модему, и оператор с помощью специальной программы соединяется с прибором учета. Телефонная линия занята только в те несколько секунд, когда с прибора учета считывается информация (рис. 2).

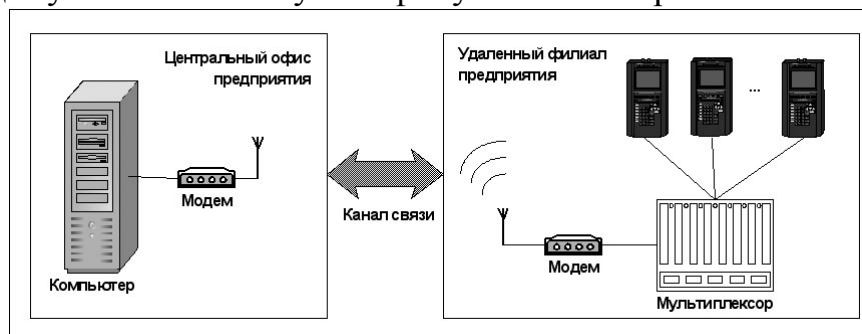


Рис. 2. Считывание данных с удаленных приборов учета

Для одновременного подключения как электронных и индукционных опорных счетчиков электроэнергии, так и микропроцессорных счетчиков, имеющих цифровые выходы, используются УСПД, в качестве которых выступают сумматоры. Сумматоры осуществляют преобразование импульсных входных сигналов в цифровую форму, преобразование данных от счетчиков с цифровым выходом в форматы внутреннего представления, а также вычисляют суммарные характеристики по нагрузке и энергопотреблению для заданных групп разнотипных счетчиков. Использование сумматоров для одновременного подключения приборов учета различных типов позволяет удешевить систему. Сумматоры позволяют организовать учет потребления энергии в условиях

действия двухставочных тарифов, когда измеряется не только электроэнергия, но и мощность в часы пиковых нагрузок, а также учет потребления энергии в условиях действия тарифов, дифференцированных по зонам суток.

Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии «SmartLink»

Для автоматизации связанных с учетом отпуска и потребления электроэнергии процессов деятельности генерирующих, распределительных компаний и компаний–потребителей электроэнергии создана автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии «SmartLink» [4-6], которая успешно внедрена на таких крупных предприятиях г. Одессы и области, как ЗАО «Стройгидравлика», ООО «Либра», НИИ «Шторм», «Промрынок 7ой километр» и др.

В связи со значительной территориальной распределенностью современных предприятий, в условиях объединения участников информационного обмена в корпоративную информационную территориальную сеть, для реализации системы «SmartLink» использованы архитектуры и технологии построения распределенных сетей и информационных систем, основанных на применении баз данных (БД). Для организации каналов связи между компьютерами, на которых установлено программное обеспечение АСКУЭ и приборами учета использованы коммуникационные системы телефонных и мобильных операторов связи.

Программный комплекс «SmartLink» состоит из трех взаимодействующих подсистем (рис. 3):

- подсистема дистанционного опроса приборов учета по информационным GSM-каналам (служба сбора данных);
- подсистема обработки считанной информации (сервер баз данных);
- подсистема представления данных (клиентское приложение).

Цель взаимодействия этих подсистем заключается в наглядном отображении и анализе значений параметров, считываемых с приборов учета электрической энергии, установленных в точках учета. На рис. 4 показана схема взаимодействия между приборами учета и программным обеспечением системы «SmartLink».

Служба сбора данных находится в непосредственном взаимодействии с системой обработки считанной информации: она с определенной постоянной периодичностью анализирует состояния сервера БД и реагирует на его изменения, считывая данные с приборов учета, а затем осуществляя запись в БД значений контролируемых параметров.

Сервер БД, во-первых, обеспечивает формирование и ведение БД АСКУЭ. Во-вторых, сервер содержит ряд функций обработки данных для представления информации в заданном пользователем виде.

Программное обеспечение клиентской части устанавливается на

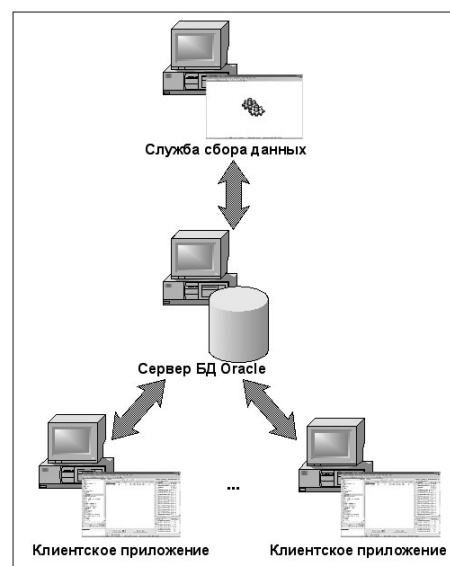


Рис. 3. Структурная схема автоматизированной системы «SmartLink»

компьютерах в отделе главного энергетика предприятий – потребителей электроэнергии и работников отдела АСКУЭ облэнерго. Оно обеспечивает задачи разделения доступа, конфигурирования системы, ручного ввода информации, отображения параметров учета, расчетных значений и справочных данных по запросу клиента. Главные цели клиентской части программного комплекса –

наглядное отображение информации в отчетных формах, на графиках, а также возможность внесения изменений в сервер БД для изменения его состояния, и, следовательно, активизации службы сбора данных.

Задача системы состоит в точном измерении количества потребленной или переданной электроэнергии (возможно, с учетом суточных, зонных или других тарифов), обеспечении возможности хранения этих измерений в течение длительного промежутка времени и доступа к этим данным для произведения расчетов с поставщиком или потребителем. Кроме того, важной составляющей является возможность анализа потребления (передачи) электроэнергии за некоторый промежуток времени.

Автоматизированная система дифференцированного учета «SmartLink» поддерживает следующие типы счетчиков:

- ZxB, ZxU, ZxD («Landis&Gyr AG»);
- SL7000 («Actaris Metering Systems»);
- ЕвроАЛЬФА («Эльстер-Метроника»);
- Энергия («Телекарт-Прибор»).

Система «SmartLink» поддерживает также работу с сумматорами СПЕ542 фирмы «Логика».

Система «SmartLink» предоставляет следующие возможности:

- поддержка нескольких видов соединения с приборами учета (прямое, соединение через системы связи телефонных и мобильных операторов связи); считывание со счетчиков данных графиков нагрузки, показаний и журнала событий; расчет электроэнергии с учетом тарифных коэффициентов; расчет баланса как по активной, так и по реактивной энергии; представление данных в табличном или графическом виде для анализа с возможностью печати или экспорта в файлы различных форматов; поддержка возможности задания периода интеграции для системы, коэффициентов трансформации и единиц измерения;
- ведение журналов замены трансформаторов и счетчиков на точках учета.

Система «SmartLink» обеспечивает удобный, интуитивно понятный пользовательский интерфейс, который предоставляет следующие возможности:

- создание древовидной иерархии групп и точек учета;
- подача запросов на считывание показаний;

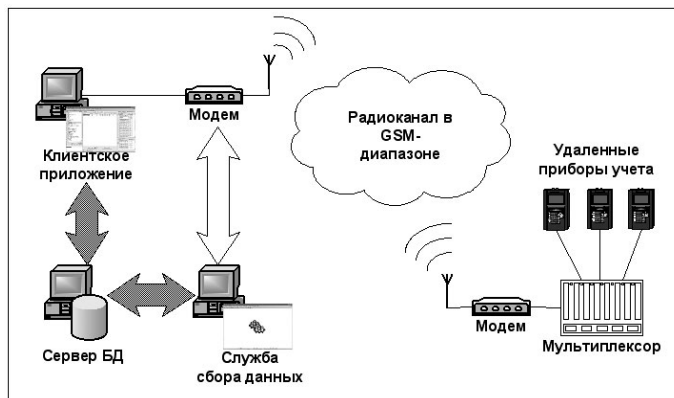


Рис. 4. Схема взаимодействия между приборами учета и программным обеспечением системы «SmartLink»

- отображение данных на разнообразных отчетных формах, удовлетворяющих конкретным требованиям заказчика;
- добавление и модификация данных;
- построение графиков нагрузки;
- предоставление удобных мастеров, упрощающих занесение данных при регистрации новых приборов и точек учета;
- экспорт данных в форматы XML, HTML, Excel;
- импорт данных из форматов макет 30917, 30817, 30818;
- ведение журналов опроса приборов учета. Система «SmartLink» поддерживает три вида опроса:

- оперативный – может быть задан в любое время и запускает функции по вычитке необходимых показаний;
- плановый – задается один раз и запускает функции по считыванию необходимых показаний через указанный интервал времени, кратный 24 часам;
- непрерывный – служит для запуска функций по считыванию мгновенных значений.

Форма оперативного опроса дает пользователю возможность считывания со счетчика, установленного на точке учета, следующих данных:

- график нагрузки за указанный период времени, текущий день и текущий месяц;
- суммарные регистры;
- мгновенные значения.

Форма планового опроса дает пользователю возможность задать расписание считывания с приборов учета графиков нагрузки в указанное время с указанным интервалом.

Для отображения графиков нагрузки предусмотрена форма коммерческого учета, содержащая в себе элементы настройки вывода и графического представления данных (рис. 5, 6). При непрерывном опросе служба сбора данных постоянно с установленным интервалом времени опрашивает мгновенные значения параметров счетчика заданной точки учета.

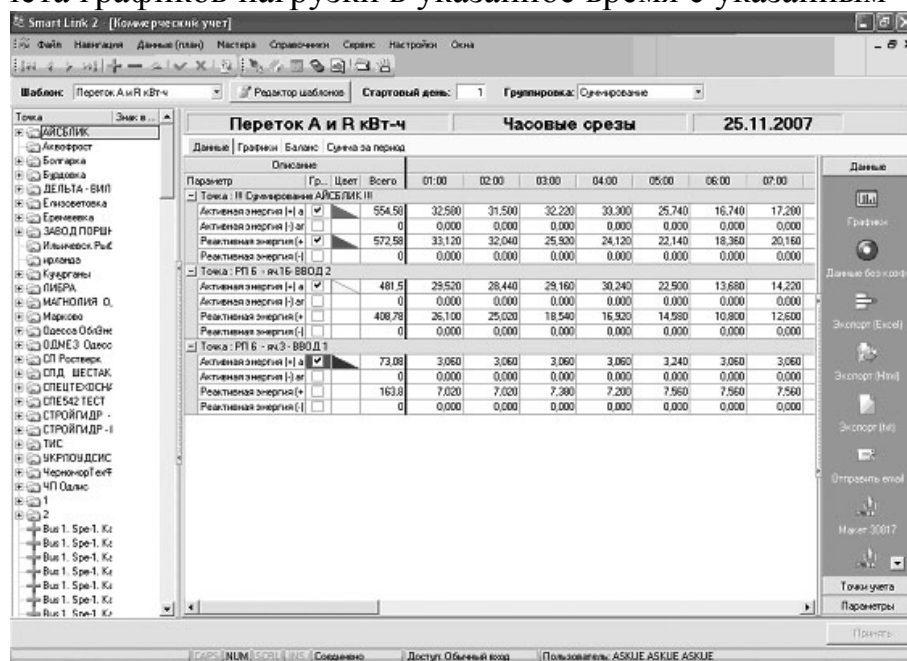


Рис. 5. Форма коммерческого учета.

Для отображения мгновенных значений предусмотрена форма, на которой считанные с приборов учета значения параметров сгруппированы по дате, времени и точкам учета. Указанные формы составляют необходимый и достаточный комплекс для пользователей на предприятиях-потребителях.

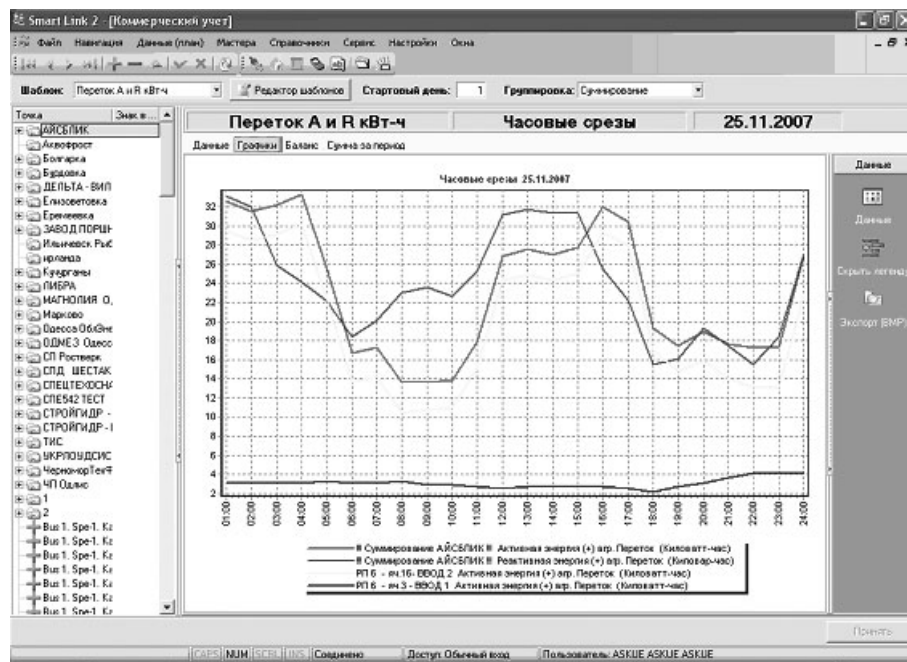


Рис. 6. Вывод графиков нагрузки на форме коммерческого учета

Выводы

Эффект от использования системы учета электроэнергии достигается не за счет установки и запуска в работу дополнительной достаточно дорогостоящей техники, а за счет разработки и внедрения организационно-технических мероприятий и управленческих решений, для которых необходимы формируемые системой данные.

Точный, достоверный и оперативный контроль и учет электроэнергии, выполняемый с помощью систем АСКУЭ, позволяет:

- потребителям: повысить точность измерения количества потребленной электроэнергии путем использования новых высокоточных приборов учета, перейти на расчет с энергосистемой по дифференцированным тарифам, и, как следствие, уменьшить сумму денежных расходов на оплату электроэнергии, а также эффективно управлять режимами потребления электроэнергии;

- поставщикам: предотвращать хищение электроэнергии потребителями и несанкционированные подключения, что позволит обеспечить значительную часть общего энергосбережения.

Вместе с тем для проведения энергосберегающих мероприятий целесообразно дальнейшее функциональное развитие таких систем. При этом возможно решение следующих задач:

- своевременное выявление потерь или области нецелесообразного расходования электроэнергии и своевременной локализации мест этих потерь;

- минимизация времени анализа возникающих проблемных ситуаций, поиска решений и оценки их последствий, прогнозирование;

- проверка достоверности измерений отдельных составляющих систем потребления электрической энергии и всего комплекса в целом, что достигается за счет ежемесячного составления баланса поступившей и отпущенной электроэнергии с учетом потерь.

Для расчетов потерь, а также для определения и прогнозирования всех составляющих баланса энергоресурсов предприятия (выработка/поставка, отпуск, потери и т.п.), что позволяет снизить потребляемую мощность в часы пиковых нагрузок энергосистемы, целесообразна реализация в рамках АСКУЭ специализированных подсистем интеллектуального анализа данных и экспертных подсистем.

Перспективным является также использование в составе АСКУЭ интеллектуальных подсистем поддержки принятия и исполнения решений, основанных на знаниях, формализуемых в рамках технологии искусственного интеллекта, и опыте высококвалифицированных специалистов, накапливаемом в базах знаний.

Список литературы: 1.Справочник потребителя электроэнергии. Глоссарий [Электронный ресурс] / TRIOS, 2004-2009. – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.e-meter.info/gloss.php> – Загл. с экрана. 2.Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии [Электронный ресурс] / Компания РС Автоматизация. – Trillium Group, 2001-2009. – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.rsautomation.ru/index.php?page=askue&lang=ru> – Загл. с экрана. АСКУЭ современного предприятия [Электронный ресурс] / Электронный журнал энергосервисной компании «ЭСКО» – 2002. – №6. – Режим доступа: \www/ URL: http://escosys.narod.ru/2002_6/art12.htm. – Загл. с экрана. 3.Свідोцтво про реєстрацію авторського права на твір № 19079. Комп'ютерна програма «Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии "Smartlink"» [Текст] / Иванов О.Ю., Розновец О.И., Найко С.С., Сомсіков О.С., Роша Ю.П. – Міністерство освіти і науки України, Державний департамент інтелектуальної власності. – 9.01.2007 р. – 1 с. 4.Волощук, Л.А. Система автоматизированного дистанционного учета потребления электроэнергии предприятием [Текст] / Волощук Л.А., Розновец О.И., Коноплев А.И. // Стратегия качества в промышленности и образовании: материалы V международной конференции, 6-13 июня 2009 г. Варна, Болгария. В 2-х томах. Том I. Составители: Хохлова Т.С., Хохлов В.А., Ступак Ю.А. – Днепропетровск-Варна, 2009. – с. 678 – 680 5.Волощук, Л.А. Эффективное управление потреблением электроэнергии на основе использования АСКУЭ [Текст] / Волощук Л.А., Розновец О.И. // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научно-технической конференции, 19-20 мая 2009 г. Одесса. / под ред. Копейкиной М.Ю. – Киев : АТМ Украины, 2009 г. – с. 18 – 22

Поступила в редколлегию 19.05.2011

УДК 629.7.035.03–036.34

Ю.М.ТЕРЕЩЕНКО, д-р техн.наук.,проф., НАУ, Киев

І.О. ЛАСТІВКА, канд. техн.наук, доц., НАУ, Киев

ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ОБТІКАННЯМ НА ВІБРОНАПРУЖЕННЯ ЛОПАТОК КОМПРЕСОРА ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Проведено дослідження впливу інтенсивності газодинамічного управління обтіканням лопаток направляючого апарату на вібронапруження лопаток ротора компресора газотурбінного двигуна при резонансних коливаннях.

Ключові слова: управління обтіканням, нерівномірність потоку, вібронапруження.

Проведено исследование влияния интенсивности газодинамического управления обтеканием лопаток направляющего аппарата на вибронапряжения лопаток ротора компрессора газотурбинного двигателя при резонансных колебаниях.

Ключевые слова: управление обтеканием, неравномерность потока, вибронапряжения.

The influence of gasdynamic flow control intensity of guide vanes on the rotor vanes vibrostress of gas turbine engine during resonance oscillation was researched.

Key words: flow control, flow distortion, vibrostress.

Вступ

В повітряних чи газових компресорах, в газових турбінах повітря або газ рухається через систему нерухомих і обертових аеродинамічних решіток. Це означає, що існує силова взаємодія між потоком повітря (газу) і лопатками. Аеропружні явища складають одну з основних причин, які впливають на характеристики газотурбінних двигунів, що проектуються. Висока завантаженість лопаток компресора за швидкістю і підвищенням тиску повітря в ступені, досить висока температура на вході в компресор при великих швидкостях польоту свідчить про складне поєднання змінних навантажень вінців лопаток газотурбінних двигунів, під дією яких лопатки знаходяться у стані періодичних коливань або вібрацій.

Вібрації лопаток компресорів і турбін – одна з найбільш складних і гострих проблем, що виникають при створенні авіаційних газотурбінних двигунів. Складність цієї проблеми визначається її комплексним характером – у ній тісно переплетені питання нестационарної аеродинаміки, задачі коливань тонких лопаток, що знаходяться в пружній взаємодії з іншими елементами ротора, питання втомної міцності матеріалу тощо.

Усі види вібрацій лопаток пов'язані з наявністю змінних аеродинамічних сил і діляться на автоколивання (флатер), резонансні коливання лопаток, акустичний резонанс, а також вельми своєрідні коливання лопаток осьового компресора, що викликаються обертовим зривом. Найбільш поширений вид вібрацій лопаток турбомашин – резонансні коливання з частотами, кратними частоті обертання ротора [4]. Їх можна розділити на два типи – низькочастотні, що збуджуються гармоніками великомасштабної нерівномірності потоку на вході в компресор, та високочастотні, які при обертанні лопаток збуджуються при їх перетині з аеродинамічними кромковими слідами вхідного направляючого апарату і направляючого апарату, де має місце колова періодична нерівномірність потоку. При консольній конструктивній реалізації лопаток направляючих апаратів в цих лопатках можуть також виникати резонансні коливання через їх зворотну взаємодію з обертовими лопатками сусідніх робочих коліс.

Постановка задачі

Періодична нерівномірність потоку повітря (газу) на вході в компресор газотурбінного двигуна є однією із основних причин виникнення резонансних коливань лопаток, коли механічні напруження σ в них збільшуються у декілька разів. Вони можуть досягати $[\sigma_{\max}]$ за умовами міцності, що у ряді випадків призводить до виходу з ладу лопаток. У зв'язку з цим важливою і актуальною є задача про напружено-деформований стан лопаток робочих коліс осьових компресорів, вивчення і аналіз аеродинамічних факторів, що впливають на коливання лопаток і на їх динамічну міцність. Серед них розглянемо і оцінімо фактор газодинамічного управління структурою потоку повітря за елементами

статора шляхом видуву додаткової маси повітря в пристінний примежовий шар на профілі решітки вхідного направляючого апарату, та вплив інтенсивності управління обтіканням на нерівномірність потоку і вібронапруження лопаток компресора газотурбінного двигуна.

Вирішення задачі і аналіз досліджень

При обтіканні лопаток решіток вхідного направляючого апарату і направляючого апарату потоком повітря або газу утворюються аеродинамічні кромкові сліди втрат, що є джерелом періодичної колової нерівномірності потоку перед лопатковим вінцем, що обертається. У сліді позаду нерухомого тіла швидкість і повний тиск менші, ніж у зовнішній течії. Таке пониження швидкості і повного тиску означає, що тут відбувається втрата імпульсу, причиною якої є опір тіла. На амплітуду змінних сил, що викликаються вказаними нерівномірностями при обтіканні лопаток і які залежать від режиму обтікання та характеристик відповідних решіток, впливають, головним чином, амплітуди зміни кута атаки і відносної швидкості потоку.

Потік в абсолютному русі неоднорідний в коловому напрямі, а це спричиняє нерівномірність і у відносному русі (рис. 1).

Потік виходить із решіток вхідного направляючого апарату з абсолютною швидкістю c_0 під кутом α і входить в робочі решітки з відносною швидкістю W_1 , направленою під кутом β_1 до фронту решітки робочого колеса. В той момент, коли робоча лопатка проходить зону аеродинамічного сліду за вихідними кромками вхідного направляючого апарату, абсолютна швидкість змінює величину і відповідно цьому відносна швидкість змінюється як за величиною, так і за напрямом. Це призводить до періодичної зміни режиму обтікання робочих решіток, що виражається в зміні розподілу сили тиску за профілем і перебудовою примежового шару, тобто робочі решітки перебуватимуть в пульсуючому потоці. Оскільки відносна швидкість W_1' у сліді менша за швидкість W_1 за межами сліду, сила тиску на спинці робочої лопатки зменшуватиметься, а на увігнутій поверхні – буде зростати в порівнянні з розрахунковим значенням

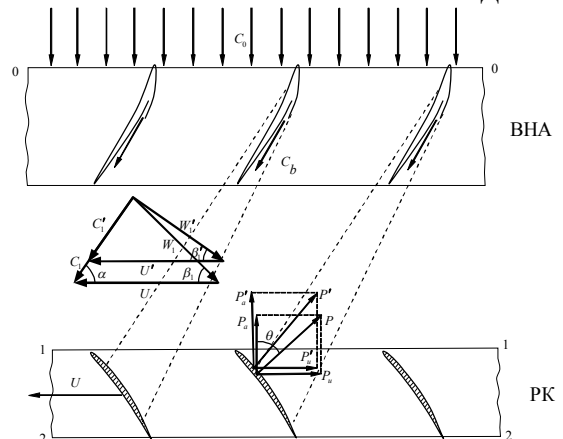


Рис. 1. Зміна обтікання робочих лопаток і повної аеродинамічної сили, що діє на них, за наявності періодичної колової нерівномірності потоку

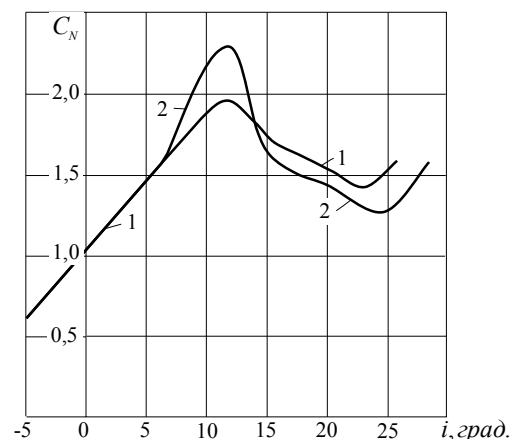


Рис. 2. Залежність коефіцієнта нормальній сили від кута атаки:

- 1 – для нерухомої лопатки в компресорній решітці;
- 2 – для лопатки, що коливається.

Зміну нормальної сили, що діє на профіль при перетині слідів, показано на рис. 2 [1]. Із рисунку видно, що коефіцієнт нормальної до хорди сили C_N , що діє на профіль в компресорних аеродинамічних решітках при зміні кута атаки, суттєво змінюється (у 2–3 рази).

Таким чином, можна стверджувати, що періодична колова нерівномірність потоку в осьовому компресорі, обумовлена пульсуючим обтіканням вінців лопаток від аеродинамічних слідів за елементами статора компресора, є причиною збудження в компресорі коливань лопаток робочих коліс і консольно закріплених лопаток направляючих апаратів, які можна класифікувати як стійкі резонансні коливання [2], що збуджуються при збігу власних частот коливань лопаток з частотою зміни збуджуючої дії nz (n – частота обертання, z – число лопаток направляючих решіток). Слід зазначити, що найбільш небезпечними з точки зору віброміцності є коливання лопаток робочих коліс перших ступенів компресора [1, 3, 4].

Розглянемо основні фактори, що визначають інтенсивність коливань лопаток. Якщо припустити згідно з [2], що зміна аеродинамічної сили в часі має вигляд прямокутних імпульсів, то амплітуда зміни сил тиску i -ої гармоніки визначається за формулою:

$$P_i = P_n \frac{2}{\pi_i} \sin \pi \cdot i \frac{\Delta \tau}{T} \sqrt{S^2 + C^2} = P_n A_i \sqrt{S^2 + C^2}, \quad (1)$$

$$\text{де} \quad S = \sin \frac{2\pi\tau_1}{T} i + \dots + \sin \frac{2\pi\tau_n}{T} i, \quad C = 1 + \cos \frac{2\pi\Delta\tau}{T} i + \dots + \cos \frac{2\pi\tau_n}{T} i.$$

Величина $\sin \frac{\pi\Delta\tau}{T} i$ враховує розміри аеродинамічного сліду по його ширині, а $\sqrt{S^2 + C^2}$ – кількість лопаток вхідного направляючого апарату або інших елементів статора перед лопатками робочого колеса, що коливаються.

Сумарна аеродинамічна сила, що діє на лопатку в площині коливань, визначається [2]

$$P_n = P_{A_n} \cdot \cos \theta + P_{U_n} \cdot \sin \theta, \quad (2)$$

де θ – кут між напрямом коливань і нормаллю до фронту решіток (в дослідженні вважаємо, що $\theta = \alpha$, рис.1). Величина сил P_{A_n} , P_{U_n} визначається з рівнянь кількості руху, записаного в проекціях на осі абсцис і ординат, напрями яких співпадають відповідно з напрямом основного потоку і лінією фронту решіток:

$$P_{A_n} = \frac{F_1 + F_2}{2Z_n} \rho_1 (\pi - 1), \quad P_{U_n} = \rho_1 \bar{H}_t \bar{C}_{1a} U_\kappa^2 \frac{F_1}{r_{cp} Z_n}. \quad (3)$$

У разі відсутності управління слідами інтенсивність періодичного збурення визначається залежністю [5]:

$$\Delta P_i = f(\Delta P_A; \Delta P_U), \quad (4)$$

де ΔP_A , ΔP_U – зміна складових повної аеродинамічної сили при періодичній нерівномірності потоку. Повна ж змінна аеродинамічна сила, що діє при резонансних коливаннях, буде:

$$P = P_i + P_j, \quad (5)$$

де P_j – змінна аеродинамічна сила, що виникає через зміну колової швидкості U_n руху лопатки при коливаннях з відносною швидкістю W_1 повітря. Тоді робота, що здійснюється змінною аеродинамічною силою при коливаннях лопатки протягом періоду коливань на всій її висоті, буде [2]:

$$A = \int_0^T \int_{\bar{d}}^1 \left[d_1(\Delta P_i) + d_2(\Delta P_j) \right] x dt = A_3 + A_0. \quad (6)$$

Перший доданок A_3 – аеродинамічне збудження коливань, другий A_0 – аеродинамічне демпфування коливань. Баланс енергій при коливаннях виразиться в тому, що робота змінної аеродинамічної сили A дорівнюватиме розсіюванню енергії в матеріалі лопатки і у вузлі її закріплення. Звідси можна визначити амплітуду коливань лопатки при її резонансних коливаннях, а отже, і вібраційні напруження, які в ній виникають. З балансу енергій можна отримати формулу для визначення напруження σ_k в кореновому перетині лопаток [6], де рівень цього напруження досягає свого найбільшого значення:

$$\sigma_k = \frac{\delta P_i \pi I_1 \frac{1}{k}}{\left\{ C'_\mu E \frac{b_k C_k^2}{l} B_m + C'_3 E \frac{b_k C_k^5}{l^2} B_3 - 19,8 f_1 \frac{I_2}{I_1} \frac{1}{K_{C_k}} \frac{l^2}{E_{C_k}} \left[\frac{\Delta \tau}{T} \delta \bar{P}_{cp} + \left(1 - \frac{\Delta \tau}{T} \right) \delta \bar{P}_{opt} \right] \right\}}, \quad (7)$$

$$\text{де } B_m = \frac{0,164}{\left(1 + 0,4 \frac{\bar{a}_k}{\bar{C}_k} \right)^2} \int_0^1 \left(1 + \frac{\bar{a}^2}{\bar{C}^2} \right) \bar{b} \left(\frac{C}{C_k} \right)^3 \bar{X}'' d\bar{l}; \quad B_3 = \frac{0,0067 \left[1 + \left(\frac{\bar{a}_k}{\bar{C}_k} \right)^2 \right]^2}{\left(1 + 0,4 \frac{\bar{a}_k}{\bar{C}_k} \right)^2};$$

$$I_1 = \int_0^1 \bar{x} d\bar{l}; \quad I_2 = \int_0^1 \bar{x}^2 d\bar{l}; \quad K = 0,5 X_k'' \left(1 + 0,4 \frac{\bar{a}_k}{\bar{C}_k} \right) \quad (K = 1,4 - 2,0).$$

Аналіз даного виразу показує, що серед багатьох факторів, які характеризують рівень напружень при резонансних коливаннях лопаток, інтенсивність нерівномірності потоку δP_i здійснює безпосередній вплив на величину σ_k . У зв'язку з цим очевидним є те, що зниження рівня вібронапружень в лопатках ротора компресора можна досягти за рахунок зменшення рівня періодичної нерівномірності потоку перед вінцем лопатки.

Проведемо дослідження щодо оцінки впливу на рівень періодичної нерівномірності $\alpha = \frac{v_{\max}}{C_0}$ (C_0 – постійна швидкість у ядрі потоку між слідами, $v_{\max}$ – максимальна додаткова швидкість у сліді) інтенсивності управління обтіканням, яка оцінюється величиною коефіцієнта імпульсу вдуву [7]:

$$C_\mu = \frac{\rho_b C_b^2}{\rho_0 C_0^2} \cdot \frac{b}{t} \bar{h}_{\text{ш}} \frac{1}{\sin \gamma}, \quad (8)$$

а також розгляду функціональної залежності $\alpha = f(x; C_\mu)$ для решітки, що обтікається квазітривимірним потоком (C_0, ρ_0 – швидкість і щільність основного

поток; ρ_b, C_b – швидкість і щільність повітря, що видувається з щілин профілю в примежований шар; $\bar{h}_{uy} = h_{uy}/b$ – відносна висота щілини; b/t – густота решітки).

В основі аналітичних розрахунків лежить знаходження товщини втрати імпульсу δ_{Σ}^{**} за вихідною кромкою лопаток в решітці – величини, що визначає інтенсивність аеродинамічних слідів.

Записуючи рівняння імпульсів для примежового шару на поверхні у вигляді

$$\frac{d\delta^{**}}{dx} + \frac{W'}{W}(2\delta^{**} + \delta^*) = \frac{\tau}{\rho W^2} \quad (9)$$

і вводячи в розгляд функції

$$f' = \frac{W\delta^{**}}{W} X, \quad \xi' = \frac{\tau}{\rho W^2} X, \quad (10)$$

після простих перетворень отримуємо

$$\frac{df'}{dx} = \frac{W'}{W} \{ (1+m)\xi' - [3+m+(1+m)H'] f' \} + \frac{W''}{W'} f', \quad (11)$$

$$\text{де } m = \frac{R_{\delta^{**}} X'}{X}, \quad R_{\delta^{**}} = \frac{W\delta^{**}}{\nu}; \quad X = f(R_{\delta^{**}}).$$

Вважаючи, що вплив градієнта тиску на течію в пристінних шарах позначається тільки через відношення $\frac{W\delta^{**}}{W}$, а вплив числа Рейнольдса Re – через функцію X , записуємо

$$X = \frac{\rho W^2}{\tau}.$$

Приймаючи для ламінарного обтікання $\xi = 0,219$, $X = R_{\delta^{**}}$, $m = 1$, маємо

$$F_1(f) = (1+m)\xi - [3+m+(1+m)H]f = 0,44 - 5,8f. \quad (12)$$

Для розвиненого турбулентного примежового шару

$$F(f) = 1,25 - 4,8f. \quad (13)$$

Аналіз виразів (12), (13) показує, що для різних режимів течії в примежовому шарі зміна функції $F(f)$ має лінійний характер і може апроксимуватися залежністю

$$F(f) = a + bf. \quad (14)$$

Враховуючи (14), рівняння (9) приводимо до лінійного рівняння

$$\frac{df}{dx} = \frac{W'}{W} a + \left(\frac{W''}{W'} - b \frac{W'}{W} \right) f, \quad (15)$$

розв'язок якого записуємо у вигляді

$$f = \frac{aW'}{W^b} \int_0^x W^{b-1} dx. \quad (16)$$

З виразів (16) і (10) знаходимо

$$\frac{W\delta^{**}}{\nu} = \frac{a}{\nu X W^{b-2}} \int_0^x W^{b-1} dx. \quad (17)$$

Позначивши $X_1 = X R_{\delta^{**}}$, з рівняння (17) маємо

$$X = \frac{a}{\nu W^{b-2}} \int_0^x W^{b-1} dx.$$

Згідно з отриманими результатами для різних типів течії запишемо вирази для визначення товщини втрати імпульсу:

$$\delta_{\Sigma}^{**} \approx \frac{2\nu}{W} \sqrt{X} \text{ — для ламінарної течії; } \delta_{\Sigma}^{**} \approx \frac{2\nu}{W} \left[\frac{X}{153,2} \right]^{\frac{6}{7}} \text{ — для турбулентної течії.}$$

Використовуючи наближене співвідношення $\xi_{\text{пр}} \approx 2 \frac{\delta^*}{a} \approx 2 \frac{\delta^{**}}{a}$, можна отримати функціональну залежність рівня періодичної нерівномірності потоку від відстані до вихідної кромки лопаток

$$\alpha = K_1 \left[\left(2 \frac{t}{b} \cdot \frac{\delta_{\Sigma}^{**}}{a} \sin \beta_2 \right) \frac{b}{x} \right]^{0,5}.$$

Визначимо товщину втрати імпульсу в сліді за елементами статора компресора з управлінням обтіканням поверхонь у вигляді

$$\delta^{**} = \left(\delta_0^{**} - C_{\mu 0} W_b \frac{b}{t} \sin \gamma + \delta_x^{**} \right),$$

де δ_x^{**} — товщина втрати імпульсу на ділянці від місця розміщення щілин до вихідної кромки. З урахуванням зроблених припущень після нескладних перетворень маємо

$$\alpha_{\mu} = K \left[2 \left(\frac{t}{b} \right) \frac{\sin \beta_2}{a} \cdot \frac{b}{x} \left(\delta_{\Sigma_0}^{**} - C_{\mu m} W_m \frac{b}{t} \sin \gamma - \delta_{\Sigma_x}^{**} \right) \right]^{0,5},$$

де ρ_m та W_m визначаються для міжлопаткового каналу у відповідності з теоремою Жуковського—Стєчка для решітки профілів.

Вираз σ_k у випадку вимушених коливань при різній інтенсивності управління аеродинамічними слідами запишемо наступним чином:

$$\bar{\sigma}_k = \frac{\sigma_k}{\sigma_{k_0}} = \frac{\left[\beta_0 - \arccos \frac{u}{W_1} (1 + \alpha_{\mu}) \right] \left(\frac{1}{1 + \alpha_{\mu}} \right)^2 - \left(\beta_0 - \arccos \frac{u}{W_1} \right)}{\left[\beta_0 - \arccos \frac{u}{W_1} (1 + \alpha) \right] \left(\frac{1}{1 + \alpha} \right)^2 - \left(\beta_0 - \arccos \frac{u}{W_1} \right)}, \quad (18)$$

де σ_{k_0} — напруження при $C_{\mu} = 0$.

На рис.3 представлені результати досліджень впливу газодинамічного управління аеродинамічними слідами за елементами статора на рівень вібронапружень при вимушених коливаннях лопаток ступені осьового компресора.

Із розгляду цих досліджень випливає, що при інтенсивності газодинамічного

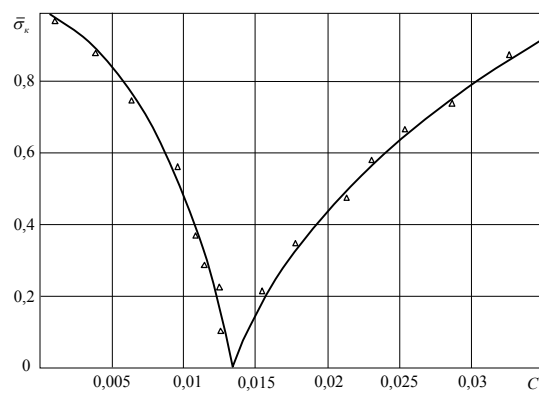


Рис. 3. Залежність відносного рівня вібронапружень в кореновому перетині лопаток компресора від інтенсивності управління аеродинамічними слідами (— розрахунок за формулою (18); Δ - результати експериментального дослідження [5])

управління обтіканням, яка відповідає значенням $c_{\mu} = 0,01-0,015$ в діапазоні чисел $M_0 = 0,4-0,8$, рівень вібронапруження в порівнянні з початковим може бути зменшений на 90–95%, тобто практично усуваються коливання лопаток. При інтенсивності управління аеродинамічними слідами, вищій за оптимальні значення, спостерігається знову ріст вібронапружень, обумовлений коливаннями лопаток.

Висновки

Газодинамічне управління обтіканням елементів статора може забезпечити зниження рівня вібронапружень в лопатках ротора компресора при резонансних коливаннях на небезпечних режимах.

Список літератури: 1.Самойлович Г.С. Нестационарное обтекание и аэроупругие колебания решеток турбомашин [Текст] / Г.С. Самойлович. – М.: "Наука", 1969. 2.Кулагина В.А. Приближенный расчет аэродинамического возбуждения и демпфирования резонансных колебаний лопаток компрессора [Текст]: сб. "Лопаточные машины и струйные аппараты". – М.: "Машиностроение", 1968. – № 4. 3.Вибрации турбинных лопаток, возникающие под влиянием закрученных следов лопаток соплового аппарата [Текст]: сб. "Труды американского общества инженеров-механиков", серия "Энергетические машины и установки". – М.: «Мир», 1970. – № 1. 4.Самойлович Г.С. Возбуждение колебаний лопаток турбомашин [Текст] / Г.С. Самойлович. – М., "Машиностроение", 1975. 5.Терещенко Ю.М. Исследование методов снижения уровня вибронапряжений в элементах турбомашин [Текст]: сб. "Проблемы прочности" / АН УССР. – К., 1974. – № 10. 6.Биргер И.А. Расчет лопаток на прочность. Руководство для конструкторов по расчету на прочность газотурбинного двигателя [Текст]: вып. 2. – М.: Оборонгиз, 1956. 7.Авт. свид. № 411232. Способ устранения неравномерности потока за лопатками статора осевого компрессора [Текст] / Терещенко Ю.М. – опубл. Бюл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1974. – №2.

Поступила в редколлегию 12.05.2011

УДК 629.7: 621.3

М. Н. НАКАЗНЕНКО, асс., НАУ «ХАИ», Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО АККУМУЛЯТОРА В КОМПЛЕКСНОЙ АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКЕ

Установлено, що успішне вирішення задач моделювання розрядної характеристики електрохімічного накопичувача можливе за рахунок використання багатофакторних нейромережевих моделей. В результаті дослідження було запропоновано методику побудови високоякісної нейромережевої математичної моделі та розроблено нейромережева модель, що дозволяє з високою точністю моделювати роботу електрохімічного накопичувача.

Установлено, что успешное решение задач моделирования разрядной характеристики электрохимического накопителя возможно за счет применения нейросетевых моделей. В результате исследования предложена методика построения высококачественной нейросетевой математической модели, позволяющая с высокой степенью точности моделировать работу электрохимического накопителя .

Its is defined, that the successful solution problems of modeling discharge performance of electrochemical storage is possible by using multi-neural network models. As a result of the study the method of constructing high-quality mathematical model of electrochemical storage was offered. The developed neural models that allow highly accurate modeling work electrochemical storage.

Введение.

Электрохимические аккумуляторы, в настоящее время широко используются в автономных энергетических установках на основе альтернативных источников энергии, где требуется резервная электрическая энергия в период времени, когда основной генератор не может выполнять свои функции по ряду причин, в том числе и отсутствие энергоприхода.

Новые технологии производства аккумуляторных батарей позволяют улучшить удельную емкость, количество циклов заряда-разряда и другие характеристики, что делает химические накопители еще более привлекательными для использования в автономных системах энергоснабжения.

Анализ проблемы

Бесперебойное обеспечение потребителя энергией предполагает наличие резервного источника. Выбор типа резервного источника определяется рядом факторов: скоростью введения в действие, потребляемой мощностью, наличием или отсутствием сети электроснабжения, географическим положением потребителя, допустимыми затратами и др.

Современная автономная система энергоснабжения на альтернативных источниках энергии может быть реализована по различной логике функционирования:

- система со сбросом избытка энергии;
- система с накопителем энергии;
- система с регулированием по приоритету нагрузки.

Учитывая то, что альтернативные источники энергии нестабильны по отношению к постоянству энергоприхода, то для них наиболее эффективной является схема с накоплением энергии (см. рис.1).

Накопители могут аккумулировать энергию

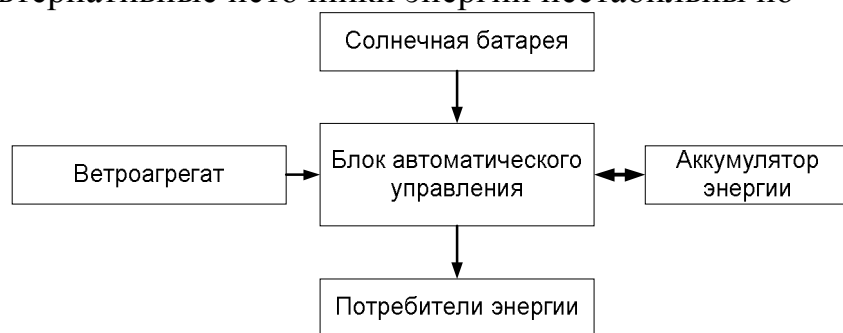


Рис.1 - Схема ветросолнечной автономной энергоустановки с накоплением энергии.

возобновляемых источников, как в ее исходном, так и в преобразованном виде. Достоинством схемы является высокая устойчивость энергоснабжения. Основные недостатки таких систем: их относительно высокая стоимость в сравнении с традиционными, сложность создания больших энергоустановок, применение сложных средств дистанционного управления. Кроме того после заряда накопителя энергии схема переходит в режим сброса избытка энергии.

Ввиду того, что в определенный момент работы автономной энергоустановки единственным источником энергии для потребителя может оказаться аккумулятор, его надежность является весьма важной. Поэтому не маловажным аспектом в организации автономных систем энергоснабжения является контроль и оперативная диагностика аккумулятора, то есть автоматизированный контроль и учёт ресурса. Это даст возможность вовремя

оценить текущую надежность аккумулятора и, при необходимости, заменить его новым. Неотъемлемым шагом на пути организации системы контроля и диагностики аккумулятора является построение качественной и адекватной математической модели накопителя, что в данной работе реализуется для электрохимического типа аккумулятора.

Постановка задачи

Учитывая особенности контроля и диагностики электрохимического накопителя или батареи химической (БХ), задачей ее моделирования является отображение заряд-разрядных (ЗРХ) характеристик в пределах установленной точности. Модель БХ должна содержать в себе не только динамические зависимости, а и иметь составляющие позволяющие оценить зависимости емкости батареи от температуры, и других факторов существенно влияющих на ее работу. Модель также должна позволять отображать многотоковую разрядную и разрядную характеристику, ввиду того, что ток генератора, нагрузки, а соответственно и разрядный ток накопителя, не всегда постоянны, такая модель будет прогнозировать работу БХ на критических режимах, не подвергая опасности при этом самого аккумулятора. Учитывая многофакторность модели и поставленные выше задачи реализовать модель БХ можно методом нейронных сетей.

Построение моделей БХ в составе автономной системы энергоснабжения с помощью нейросетей состоит в том, что необходимо подобрать наилучшую, с точки зрения точности, структуру сети. А именно количество слоев сети, количество нейронов в каждом слое, и вид передаточной функции каждого нейрона.

Решение задачи

Опыт показывает, что для задач аппроксимации, в том числе и ЗРХ, наилучше себя зарекомендовала трехслойная сеть, состоящая из входного слоя, скрытого слоя и выходного слоя. Такая структура устойчивая к переобучению и имеет сравнительно небольшое время обучения.

Учитывая то, что аппроксимируемая функция будет иметь два независимых (ток и время заряда или разряда) и один зависимый параметр (напряжение разряда или заряда) можно сразу определиться с количеством нейронов во входном и выходном слоях. В нейронной сети, не имеющей в своей структуре задержек, количество входных нейронов определяется количеством независимых параметров, а выходных – количеством зависимых.

Таким образом, сформирована структура сети, и количество нейронов во входном и выходном слоях. На следующем этапе необходимо определить количество нейронов в скрытом слое.

Выбор числа нейронов в скрытом слое производят различными способами но, ни один из них не является лучшим. Поэтому было принято решение проводить структуризацию скрытого слоя параллельно с обучением сети по алгоритму представленному на рис.2.

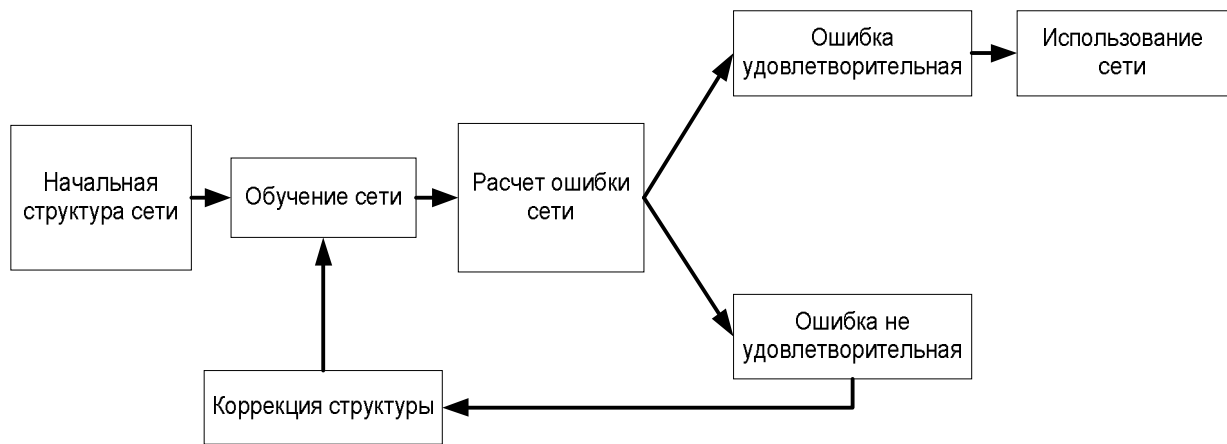


Рис.2- Блок-схема алгоритма построения сети.

Таким образом, алгоритм определения количества нейронов в скрытом слое сети состоит из этапов:

- 1) начальное количество нейронов в слое (в нашем случае 2 нейрона);
- 2) обучение сети;
- 3) проверка ошибки моделирования (среднеквадратическое отклонение);
- 4) в случае не удовлетворительной ошибки корректировка структуры слоя (добавляем 2 нейрона) и повторяем алгоритм, начиная с пункта 2;
- 5) в случае удовлетворительной ошибки, сеть готова к применению.

Количество добавляемых нейронов может изменяться, и в случае, когда ошибка после коррекции структуры начинает расти, но остается при этом неудовлетворительной необходимо произвести более тонкую настройку по тому же алгоритму, но только уменьшить количество вводимых нейронов. Тонкую настройку проводят, начиная из предыдущего шага грубого формирования сети, после начала роста ошибки.

В качестве, метода обучения сети описания разрядных характеристик в кислотном аккумуляторе выберем, специально созданную для аппроксимации многомерных нелинейных функций, классическую многослойную сеть с обучением по методу обратного распространения ошибки [1, 2].

Таким образом, разрядную характеристику будем представлять в виде суммы функций времени и тока:

$$U(I, t) = \varphi_L \left\{ \sum_{i=1}^n \left(WL_i \cdot \varphi_i \left[I \cdot WI_i^I + t \cdot WI_i^t + b_i^1 \right] + b^2 \right) \right\} \quad (1)$$

Где WL , WI^I и WI^t - вектора весов синапсов между скрытым и выходным, и между входным и скрытым слоями нейронов соответственно, подлежащие определению;

b^1 , b^2 – вектора смещений каждого нейрона скрытого и выходного слоя соответственно (подлежат определению).

φ_L , φ_i – функции активации нейронов скрытого и выходного слоя;

n – количество нейронов в слое.

В качестве функций активаций нейронов скрытого слоя, ввиду явной нелинейности разрядных характеристик берем функцию гиперболического тангенса

Функция Φ_L имеет линейный вид, т.е. $\Phi_L(z) = z$

В результате формирования и обучения сети была получена сеть, моделирующая разрядную характеристику со структурой 2-14-1, при этом среднеквадратическое отклонение равно $3,1567 \times 10^{-5}$.

Результаты моделирования

Результаты моделирования зарядных характеристик приведены на рис.3 Поверхностью черного цвета показана экспериментальная разрядная характеристика БХ, а серым - смоделированная.

В результате построения нейросетевой модели была получена адекватная математическая модель разрядных характеристик свинцового аккумулятора, с помощью которой можно на стадиях проектирования

автономных систем энергоснабжения на основе альтернативных источников энергии с допустимой погрешностью моделировать его работу.

Выводы и рекомендации.

Рассматривая полученную модель, можно сделать ряд выводов.

К преимуществам модели такого типа можно отнести то, что модель более точно, чем аналитические аппроксимирует характеристики БХ. Однако здесь может возникнуть ряд сложностей в том, что если не проделать предварительной обработки данных сеть может промоделировать не только полезную составляющую характеристики, но и погрешность наблюдений. Поэтому на экспериментальные данные сразу накладываются условия, которые требуют высокой точности измерений, и предварительного факторного анализа и статистической обработки данных. К следующим преимуществам можно отнести способность сети к более точному и длительному прогнозированию характеристик. Что может ограничить время проведения экспериментов и исключить эксперименты, содержащие критические режимы работы БХ.

К недостаткам нейронного моделирования относят сложность формирования структуры сети, существующие алгоритмы требуют большого времени для ее структурирования.

Кроме того к недостаткам относят зависимость точности аппроксимации от выбранной функции активации нейрона. В то время как нет четкой классификации функций в зависимости от задач, поставленных перед сетью, этот фактор требует использования той или иной функции, принимая за гипотезу из опыта разработчика, что становится сложностью для начинающих исследователей, которые только начинают работать в сфере нейросетевого моделирования.

Таким образом, несмотря на существенные недостатки нейронных сетей, их преимущества делают нейромоделирование привлекательным для решения проблем проектирования, анализа и диагностики, как отдельных элементов, так и

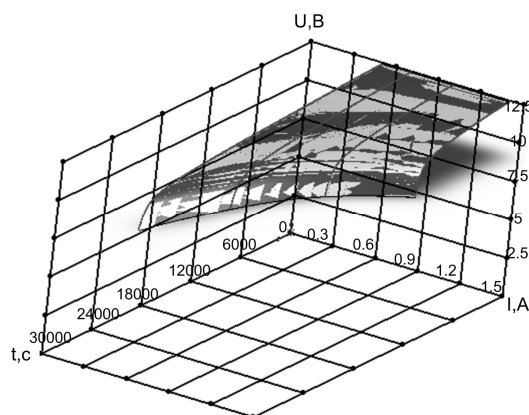


Рис. 3- Разрядная характеристика свинцового аккумулятора.

всей системы энергоснабжения в целом.

Разработчик автономных систем энергоснабжения, применяя нейросетевое моделирование, может активно использовать современные методы построения моделей электрохимических накопителей, при этом рассматривать ее как «черный ящик», не принимая во внимание сложные электрохимические и термодинамические процессы, проходящие в самом накопителе.

Список литературы: 1. *Bouchon-Meunier B. Technologies for Constructing Intelligent Systems 1: Tasks* / B. Bouchon-Meunier, J. Guiterrez-Rios, L. Magdalena and R. R. Yager. - Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. – 458 p. 2. *Хайкин С. Нейронные сети: полный курс* /С. Хайкин; пер. с англ.- М.: Изд.- дом «Вильямс». - 2006. – 1104 с

Поступила в редколлегию 12.05.2011

УДК 669.11:620.193.55

А.В. ТОЛСТЕНКО, канд. техн.наук, доц., Днепропетровский
Государственный Аграрный Университет

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРЕВРАЩЕНИЯ НА АНОМАЛЬНУЮ СПОНТАННУЮ ДЕФОРМАЦИЮ КАРБОНИЛЬНОГО ЖЕЛЕЗА

Досліджено вплив напрямку градієнта температури на мікроструктуру і формозмінення карбонільного заліза (0,03% С) при аномальній спонтанній деформації.

Ключові слова: водень, поліморфні перетворення.

Исследовано влияние направления градиента температуры на микроструктуру и формоизменение карбонильного железа (0,03%С) при аномальной спонтанной деформации.

Ключевые слова: водород, полиморфные превращения.

The influence of the direction of temperature gradient on the microstructure and deformation of carbonyl iron (0.03% C) at the anomalous spontaneous deformation are investigated.

Key words: hydrogen, polymorphic transformation.

Введение

Аномальная спонтанная деформация [1], связанная с протеканием полиморфного превращения в присутствии газообразного водорода, позволяет внести ясность в представления о механизмах динамической и структурной сверхпластичности, о характере взаимодействия примесей с границами фаз, структурном состоянии металлов и сплавов в момент полиморфного превращения.

В частности, аномальная спонтанная деформация наблюдалась на образцах карбонильного железа, содержащего 0,03% углерода. Присутствие водорода приводит к аномальному падению предела текучести железа до 0,001 МПа.

Механизм явления представлен следующим образом [1]. Если в металлическом материале, содержащем растворенный водород, происходит полиморфное превращение с образованием новой модификации кристаллической решетки, растворяющей меньшее количество водорода, то между фазами образуются метастабильная водородонасыщенная зона (Н-слой), которая приводит к спонтанному формоизменению металлов.

В представленной работе была поставлена задача исследовать влияние направления градиента температуры на микроструктуру и формоизменение железа при аномальной спонтанной деформации.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования служило карбонильное железо технической чистоты с 0,03 % С. Образцы для испытаний (цилиндры диаметром 0,005 м., длина рабочей части 0,025 м.) крепились в обойму из нержавеющей стали.

Температура печи измерялась термопарой ВР5/ВР20 с точностью 10К. Температурный интервал циклирования: 1120-1220К, скорость нагрева и охлаждения: 2 - 2,5 К/с. В печи создавали аксиальный градиент температуры.

Опыты проводили в аргоне высокой чистоты (объемная доля аргона 99,997 %) и водорода (содержание примесей 0,007 объемных процента). Давление в автоклаве измерялось манометром с классом точности 0,1. Эксперименты проводились при давлениях 0,1- 0,5 МПа.

Результаты и обсуждение

Исследовалось формоизменение образцов карбонильного железа при термоциклировании у температуры $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращения без внешней механической нагрузки.

В условиях радиального градиента температуры в образце, независимо от атмосферы в печи (аргон, водород), без внешней механической нагрузки формоизменение при $\alpha \leftrightarrow \gamma$ переходе отсутствует. Влияния водорода на деформацию при радиальном движении фронта $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращения не обнаружено.

Прямые $\alpha \rightarrow \gamma$ и обратные $\gamma \rightarrow \alpha$ полиморфные превращения в железе отличаются не только величиной, но и направлением объемных эффектов. Это наблюдалось в атмосфере аргона и водорода при аксиальном градиенте температуры в образцах карбонильного железа.

При аксиальном градиенте температуры в инертной атмосфере имеет место остаточная деформация (до 2% после 100 термоциклов). Направление формоизменения соответствует направлению теплоотода. В атмосфере водорода, при прочих равных условиях, деформация увеличивалась на порядок.

Были проведены микроструктурные исследования образцов карбонильного железа до и после $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращений. Исходная микроструктура, после однократного нагрева и охлаждения, заметно не менялась ни в водороде, ни в аргоне, размер зерна увеличивался с увеличением количества циклов.

Для определения деформации за один цикл $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращения (при аксиальном градиенте температур) были поставлены дополнительные эксперименты. Деформация за цикл определялась как сумма деформаций, получаемых при нагреве ($\alpha \rightarrow \gamma$ превращение) и охлаждении ($\gamma \rightarrow \alpha$ превращение). До температуры $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения образец удлиняется, в интервале превращения его длина сокращается. В γ -области наклон кривой деформация-температура становится более крутым, в момент $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения образец удлиняется.

Замена атмосферы печи на водород, при прочих равных условиях, не оказывает заметного влияния на деформацию при нагреве ($\alpha \rightarrow \gamma$ превращение). Кривые охлаждения обратимы только до начала $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, а затем характер удлинения резко отличается от деформации в инертной атмосфере. При наличии водорода в металле, в момент $\gamma \rightarrow \alpha$ полиморфного превращения, наблюдается необратимое увеличение деформации.

После замены водорода на инертную атмосферу, образец продолжает деформироваться. Только многократная промывка печи аргоном способствует затуханию деформации. Подобный эффект можно объяснить тем, что для диффузии водорода из металла требуется некоторое время.

В атмосфере водорода основное влияние на интенсивность формоизменения карбонильного железа оказывает направление и величина градиента температуры, т.е. температурно-скоростные условия на фронте $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, с учетом диффузионных процессов на границе фазового превращения.

В инертной атмосфере основное влияние на деформацию оказывает внешнее напряжение. Теории пластичности рассматривают объемную долю растущей и исчезающей фаз, когда из-за различий удельных объемов α - и γ - железа возникают внутренние напряжения, благодаря которым образцы деформируются. При отсутствии внешнего напряжения отсутствует деформация.

Для карбонильного железа, при данных условиях, полиморфное превращение протекает по нормальному диффузионному процессу с перераспределением водорода между растущей (α -Fe) и исчезающей фазой (γ -Fe), что и приводит к спонтанному формоизменению при аксиальном градиенте температуры в образце.

Выводы

1. В образцах карбонильного железа при $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении (в атмосфере водорода), наблюдается спонтанное формоизменение, направление которого определяется направлением аксиального градиента температуры.

Список літератури: 1. Шаповалов, В.И. О природе аномальной спонтанной деформации железа в присутствии водорода [Текст] / В.И.Шаповалов, В.Ю.Карпов // ФММ. - 1983. – Т.55, №4. - С.805-811.

Поступила в редколлегию 23.04.2011

СОДЕРЖАНИЕ

Л. Д. Масленнікова, К. С. Гриньків	3
Модифікація епоксидного олігомера аміловим спиртом	
О.І.Конько, Ю.В.Куріс, В.П.Грицай	7
Про комплексну переробку марганцевих шлаків	
О.Г.Кривоконь	10
Особливості функціонування автотракторної техніки: екологічні проблеми та шляхи їх подолання	
Е.В. Голтвяницкая, Т.А. Шаблий , Н. Д. Гомеля	17
Влияние алюминийсодержащих коагулянтов на эффективность реагентного умягчения высокоминерализованных вод Донбасса	
О.А. Нагурський	21
Капсулювання гранульованих мінеральних добрив плівками на основі полімерних відходів в апараті псевдозрідженого стану	
В.М. Кравченко, В.А. Сидоров, В.В. Буцукин	26
Особенности оценки температуры узлов механизмов органолептическими методами	
Б.М. Шифрин	30
Модель колебаний шиммигенного шасси	
А.И. Беловод, В.В. Дудник, А.В. Канивец, А.А. Дудников	34
Влияние трения на изнашивание деталей машин	
В.В. Фомін	39
Оптимізаційне проектування елементів стіни бокової окатишевозів 20-9749 за критерієм мінімальної матеріалоємності	

С.В. Романов	44
Модульна система управління технологічним індукційним нагрівом	
О.Я. Ніконов	49
Параметричний синтез інформаційно-керуючої підсистеми електрогідравлічних слідкуючих приводів багатоцільових транспортних засобів	
С.Б. Каргин	54
Оптимизация технологии ковки валов	
М.М. Микийчук	59
Перспективи застосування кластерного аналізу при контролі якості продукції	
О.А. Авраменко, І.С. Ясенова	65
Перетворення моделей документів у редокументуванні програмного забезпечення	
М. О. Білан	72
Розробка моделі впровадження бізнес-процесів у готельному господарстві	
В.П. Зайков, В.И. Мещеряков, А.А. Гнатовская	76
Обеспечение наименьшей интенсивности отказов термоэлектрического устройства заданной конструкции	
О.Г. Кисельова, В.П. Яценко, К.М. Хільченко, В.Д. Кім	86
Розробка віртуального аудіометра	

О. В. Лаврухін	91
Визначення технологічних параметрів цільової функції пріоритетного відправлення вантажних поїздів	
А.Н. Одейчук	95
Информационная технология прогнозирования с оценкой риска нестационарных временных рядов	
Н.А. Маркин, А.Н. Волошенко, А.Л. Овчинников	107
Исследования реальной пропускной способности в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.11N	
Р.О.Шапорин, О.Е.Плачинда	111
Метод расчета параметров коммуникационного оборудования сети передачи данных	
В.А. Хоменко	114
Экосистемы программного обеспечения	
Н.У. Гюлев	118
К вопросу о влиянии транспортного затора на динамический габарит автомобиля	
О.В. Лисих	123
Газопаротурбінна установка з використанням надлишкової насиченої води в її циклі	
Г.И. Канюк, А.Р. Мисько, И.П. Лаптинов, Д.Д. Стеблянко, А.Н. Топчий	126
Синтез автоматизированной системы энергосберегающего управления системами низкопотенциального комплекса электростанций	

О.И. Розновец, Л.А. Волощук	137
Оптимальное управление потреблением электроэнергии на основе использования АСКУЭ	
Ю.М.Терещенко, І.О. Ластівка	144
Вплив інтенсивності управління обтіканням на вібронапруження лопаток компресора газотурбінного двигуна	
М. Н. Наказненко	151
Моделирование электрохимического аккумулятора в комплексной автономной энергоустановке	
А.В. Толстенко	157
Влияние направления превращения на аномальную спонтанную деформацию карбонильного железа	

Наукове видання

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

"Нові рішення в сучасних технологіях"

Випуск №23

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. №86-11

Підписано до друку 17.06.2011. Формат 60х84/16 Папір офсетний.

Друк різнографічний. Ум.-друк. арк. 8. Зам. №23

Надруковано у видавництві "Технологічний центр"

вул. Новгородська, 3а, м. Харків, 61145

Тел./факс (057) 750-89-90