

#1. УДК

621.395.345.4 : 519.711.2 .

#2. Науковий ступінь

Кандидат наук.

#3. Галузь наук

Технічні.

#4. Шифр спеціальності за переліком

05.12.02.

#5. Назва спеціальності за переліком

Телекомунікаційні системи та управління ними.

#6.1. Ключові слова українською мовою

Цифрова комутація, імітаційне моделювання, мережі Петрі, SDL-діаграми, алгоритми, аналіз.

#6.2. Ключові слова російською мовою

Цифровая коммутация, имитационное моделирование, сети Петри, SDL-диаграммы, алгоритмы, анализ.

#6.3. Ключові слова англійською мовою

Digital switching, simulation, Petri net, SDL-diagrams, algorithm, analysis.

#7. Назва дисертації

Розробка методу імітаційного моделювання цифрових систем комутації на основі мереж Петрі.

#8. Назва установи, де відбудеться захист дисертації

Харківська державна академія залізничного транспорту

#9. Місто, рік захисту

Харків, 1999 .

#10. Прізвище, ім'я, по батькові здобувача

Журавель Віталій Олексійович.

#11. Рік народження здобувача

1963.

#12. Стать здобувача

Чоловіча.

#13. Місце роботи, посада здобувача

Донецький інститут залізничного транспорту, старший викладач.

#14.1. Анотація українською мовою

Журавель В. О. Розробка методу імітаційного моделювання цифрових систем комутації на основі мереж Петрі. — Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.12.02 — телекомунікаційні системи і управління ними. — Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків 1999.

Дисертація присвячена розробці загального методу моделювання цифрових вузлів комутації довільної структури в умовах сучасних мереж зв'язку. В роботі розвиваються принципи імітаційного моделювання на основі мереж Петрі для цифрових систем комутації. Основна ідея роботи — використання функціонального і структурного опису останніх засобами спеціального розширення мереж Петрі і автоматичне перетворення її графа у вихідні дані для універсального імітаційного моделюючого алгоритму. Встановлено, що принципи функціональної декомпозиції, за яким оригінал описується набором підмереж, що можуть дублюватися і дробитися (розшаровуватися), збільшує спроможність моделювання, дає можливість ієрархічного ускладнення моделі без погіршення наочності, використання комп'ютерної графіки і т.ін. Запропоновано засоби аналізу алгоритмічних властивостей мережних моделей, їх кількісних показників функціонування. Розроблений метод не вимагає навичок програмування, його ефективність підтверджено практичним застосуванням до реальних вузлів комутації. Метод використовують деякі підприємства зв'язку як засіб технічної експертизи цифрових систем комутації.

#14.2. Анотація російською мовою

Журавель В.А. Разработка метода имитационного моделирования цифровых систем коммутации на основе сетей Петри. — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 — телекоммуникационные системы и управление ими. — Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков 1999.

Диссертация посвящена разработке общего метода моделирования цифровых узлов коммутации произвольной структуры при функционировании в условиях современных сетей связи. В работе развиваются принципы имитационного моделирования на основе сетей Петри в приложении к цифровым системам коммутации. Основная идея работы — использование функционального и структурного описания последних средствами специального расширения сетей Петри и автоматическое преобразование ее графа в исходные данные для универсального имитационного моделирующего алгоритма. Установлено, что для построения и анализа сложных сетевых моделей удобно использовать принципы функциональной декомпозиции (разделения на подсети по функциональному признаку) и расслоения. При этом алгоритм работы системы, представленный SDL–диаграммой, транслируется в подсеть алгоритма, схема случайных событий во внешней среде — в подсеть внешнего окружения, и т.д., подсети могут дублироваться и дробиться (раслаиваться). Это позволяет для создания, отладки модели и автоматической подготовки части исходных данных использовать компьютерную графику, что снижает трудоемкость процесса моделирования. Такой подход дает возможность легко учесть разнообразные внешние (нестационарность, повторные вызова и т.д.) и внутренние (сбои, отказы и т.д.) факторы влияний, дает возможность иерархического усложнения модели без ухудшения наглядности. Предложены способы анализа алгоритмических свойств сетевых моделей для их отладки, оценки корректности построения и конструктивности алгоритмов, реализуемых моделируемым объектом. Разработанные принципы и приемы реализованы программно и обобщены в новый метод моделирования, который не требует владения навыками программирования. Эффективность метода подтверждена практическим применением к реальным узлам коммутации и сопоставлением результатов моделирования со статистическими данными. Метод используют некоторые предприятия связи как средство технической экспертизы цифровых систем коммутации.

#14.3. Анотація англійською мовою

Zhuravel V.O. Development of the Simulation Method for Digital Switching System based on Petri Nets. -Manuscript.

Dissertation for competition of the scientific grade of candidate of technical sciences by disciplines 05.12.02 Telecommunication Systems and Control by them. Kharkov state academy of railway transport, Kharkov, 1999

Dissertation is devoted to the development of general method for digital switching centers of arbitrary structure during the function in the modern communication networks. Simulation principles, based on Petri nets in conformity with digital switching systems are developed in this work. General concept of this work is usage of functional and structural description of these systems by the special Petri net extension means and automatic transformation their graph into the initial data for universal simulation algorithm. It was found, that it is convenient to use the principles of decomposition (dividing into subnets based on functional indications) and separation for construction and analysis of complex network models. Meanwhile system functioning algorithm, represented by SDL-diagram is transformed into algorithm subnet and circuit of arbitrary event in the external environment is transformed into external surrounding subnet, and so on, subnet can be duplicated and divided (separated). This allows to use computer graphic for model development and debugging and for automatic processing of part of initial data, what reduces working hours for simulation process. This approach gives the opportunity simply to account various external (nonstationarity, repeated calls and so on) and internal (failures, errors and so on) effecting factors and allows hierarchical model complication without obviousness deterioration. Analysis methods of network model algorithmic properties are proposed for debugging and evaluation of construction correctness and constructiveness of algorithms, realized with modeled object. Developed principles and means are software implemented and systematized into the new simulation method, that do not require special programming skills. Efficiency of this method is confirmed with practical use in real switching centers and with the comparison of simulation results with statistic data. This method is used by some communication enterprises as means for technical examination of digital switching systems.

#15. Текст автореферату (без обкладинки).

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми. Моделювання є необхідною частиною процесу розробки і модернізації вузлів комутації і дозволяє значно зменшити витрати на оцінку прийнятих проектних рішень, а також дає можливість оцінити відповідність того чи іншого обладнання до поставленої мети в процесі комерційної діяльності. Модернізація загальнодержавних і відомчих інформаційних мереж України пов'язана з великою кількістю як проектних, так і комерційних рішень по вузлах комутації, які складають значну частину вартості цих мереж. Відомі методи моделювання вузлів комутації та подібних до них систем зорієнтовані на аналіз пристроїв з фіксованою архітектурою, що ускладнює їхнє використання при зіставленні багатьох можливих варіантів. Традиційні моделі, як правило, розглядають складові вузла комутації окремо, в результаті чого втрачається вплив чинника їхнього взаємозв'язку. Для більшості з них необхідне дотримання ряду спрощень, які стають неприйнятними у зв'язку зі зміною складу обслуговуваного трафіка. Ряд методів вимагають послідовного характеру функціонування об'єкту, і не придатні для опису паралельних потоків задач вузлів комутації. Значення має і той факт, що більшість відомих методів моделювання ненаочні та вимагають достатньо високої кваліфікації від фахівця не тільки в галузі комутаційної техніки, але й у програмуванні. Все це знижує якість комерційних та проектних рішень, що приймаються при організації сучасних мереж зв'язку, збільшує час їх прийняття.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Ця робота проводилася у відповідності з Концепцією побудови цифрової мережі зв'язку залізничного транспорту, її результати можуть бути використані для технічної експертизи проектних рішень при модернізації існуючої мережі зв'язку в рамках реалізації Генеральної схеми цифрової інтегральної мережі зв'язку залізничного транспорту України.

Мета і задачі дослідження. Мета проведеної роботи — розробка принципів і загального методу інженерного моделювання проєктованих та існуючих цифрових вузлів комутації (ЦВК)¹ довільної структури для прогнозу їх основних якісних показників при функціонуванні в сучасних мережах зв'язку.

Основна ідея роботи — використання функціонального і структурного опису вузлів комутації засобами спеціального розширення мереж Петрі² (МП) та

¹ Тут і далі використовується скорочення ЦВК — цифровий вузол комутації.

² Тут і далі використовується скорочення МП — мережі Петрі.

автоматичне перетворення графічних образів МП у вихідні дані для універсального імітаційного моделюючого алгоритму. Для досягнення поставленої мети та реалізації вказаної ідеї визначено такі задачі:

- розробити принципи функціонального опису алгоритмів роботи ЦВК, які дозволили б транслювати SDL-діаграми їх алгоритмічного забезпечення у графі МП;
- розробити принципи функціонального опису у термінах МП схем випадкових подій у зовнішньому оточенні ЦВК, адекватно до його алгоритму роботи;
- розробити принципи структурного і функціонального опису в термінах МП внутрішньої організації конкретних реалізацій ЦВК;
- відшукати засоби якісного аналізу мережних моделей вузлів комутації для їхнього налагодження, оцінки правильності та коректності побудови, конструктивності алгоритмів, що реалізуються вузлом комутації;
- відшукати засоби кількісного аналізу мережних моделей вузлів комутації для отримання обґрунтованого прогнозу на показники функціонування вузлів комутації, що цікавлять дослідника;
- узагальнити розроблені принципи опису і засоби аналізу, з урахуванням впливу додаткових чинників, у вигляді методу моделювання ЦВК;
- автоматизувати отримання матриць інцидентності по графу мережної моделі, реалізувати програмно універсальний імітаційний моделюючий алгоритм, провести випробування на конкретних зразках вузлів комутації і впровадження отриманих результатів.

Методологічний апарат досліджень: теорія мереж Петрі, теорія моделювання складних систем, теорія телетрафіка, теорія графів, мови програмування, теоретичні додатки цифрової комутації.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано і досліджено нове розширення МП, зручне для створення мережних моделей вузлів комутації, що, на відміну від відомих, включає випадкові управляючі пріоритетні функції з довільним законом розподілення. Вперше сформульовано і доведено основні твердження, необхідні для аналізу таких мереж.

Вперше запропонований і програмно реалізований метод аналізу означеного розширення МП на основі побудови покриваючих дерев мережі з матрицевим, а не векторним поданням вершин.

Отримав подальший розвиток принцип трансляції SDL-діаграм функціонування вузлів комутації у графі МП, що забезпечує тепер одержання зручного для аналізу, структурно обмеженого підкласу автоматних МП.

Отримав подальший розвиток принцип моделювання випадкових потоків викликів для вузлів комутації, що тепер дозволяє врахувати взаємозв'язок моментів надходження заявок на обслуговування різного типу з самим процесом їхнього обслуговування вузлом комутації.

Вперше запропонований і програмно реалізований принцип багатошаровості мережної моделі вузла комутації, оснований на функціональній декомпозиції МП, що зробив можливим більш докладний його опис при збереженні наочності графічних образів і можливості автоматичної побудови матриць інцидентності.

Розроблено новий метод побудови і випробування багатошарових мережних імітаційних моделей вузлів комутації з використанням запропонованого розширення МП і сучасних графічних середовищ із вбудованими мовами програмування.

В цілому, наукове значення роботи полягає в розвитку принципів мережного моделювання на основі МП для об'єктів зі складною апаратно-програмною структурою і стохастичним зовнішнім оточенням, з урахуванням особливостей ЦВК.

Обґрунтованість і вірогідність отриманих результатів підтверджується випробуванням моделей реальних вузлів комутації, порівнянням отриманого прогнозу з технічними даними і даними статистики вузлів комутації, що знаходяться в експлуатації; успішними результатами впровадження на зацікавлених підприємствах; апробацією на наукових конференціях і семінарах; публікаціями в наукових журналах і збірниках.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений метод моделювання може бути застосований як:

- основа технічної експертизи проектних і комерційних рішень при виборі обладнання в техніко-економічних обґрунтуваннях і робочих проектах з модернізації існуючих і створення нових мереж зв'язку;
- засіб оцінки проектних рішень при розробці нових і модернізації існуючих апаратного та програмного забезпечень ЦВК;
- елемент системи автоматизованого проектування апаратного та програмного забезпечень ЦВК.

На основі отриманих у роботі результатів написано і відлагоджено пакет програм, що разом з графічним пакетом AutoCAD R14 (R15) призначений для побудови, аналізу, відлагодження та випробування імітаційних моделей ЦВК і може бути використаний зацікавленими організаціями.

Розроблений метод моделювання і вказаний пакет програм були успішно впроваджені для технічної експертизи ЦВК на підприємствах: ВАТ виробничо-

технологічного зв'язку Міністерства вугільної промисловості України “Укрвуглетелеком” (акт про впровадження “Укрвуглетелекома” від 29.01.99);

ЗАТ “Фарлеп–Телеком–Холдінг” (акт про впровадження “Фарлеп–Телеком–Холдінга”— від 27.01.99). Результати моделювання конкретних вузлів комутації дозволили прийняти обґрунтовані рішення по вибору обладнання для придбання і його оптимальної конфігурації в конкретних умовах. Метод і пакет програм дістали позитивні відгуки експертних комісій на означених підприємствах і рекомендовані до використання.

Особистий внесок здобувача. Автором особисто запропоноване згадане розширення мереж Петрі, обґрунтування принципів функціонального і структурного опису комутаційних систем на їх основі, принципів формального опису випадкових потоків заявок, трансляції SDL-діаграм в МП, багат шаровості мережної моделі; розроблені і програмно реалізовані принципи автоматичної побудови матриць інцидентності і випробувань мережних моделей.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації викладені, обговорені і отримали схвалення на кафедрі “Транспортний зв'язок” ХарДАЗТ, у двох доповідях на 60-й науково-технічній конференції ХарДАЗТ (з міжнародною участю, 1998р.), у доповіді на XI науковій конференції “Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті” (м. Алушта 1998р.), у доповідях на міжкафедральних семінарах ХарДАЗТ і Харківського державного технічного університету радіоелектроніки.

Публікації. По темі дисертації опубліковано п'ять наукових статей: дві в науково-технічному журналі і три в збірниках наукових праць.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів та висновків, які викладено на 146 сторінках друкованого тексту, ілюстрованого 61 рисунком (обсягом 25 сторінок), повний обсяг – 171 сторінка. Робота містить одну таблицю, список використаних джерел з 100 найменувань, а також має чотири додатки (69 сторінок тексту, 11 рисунків на 10 сторінок, 8 таблиць).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі розглянуто стан проблеми модернізації сучасних мереж зв'язку, створення і впровадження нових та вдосконалення існуючих комутаційних систем, наведено аргументи значущості розробки нового методу моделювання ЦВК. Також дано загальну характеристику дисертації, у якій визначено актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, мету і задачі дослідження, наукову

новизну і практичне значення одержаних результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача, апробацію результатів роботи та публікації.

У розділі 1 розглянуто задачі, до розв'язання яких покликане моделювання складних комутаційних систем, серед яких виділено три основних групи: оцінки існуючого комутаційного обладнання з точки зору його відповідності потребам і можливостям споживача (технічна експертиза); вибору потрібного складу готового обладнання та програмного забезпечення вузла комутації для функціонування в конкретних специфічних умовах замовника з потрібною якістю (оптимальна конфігурація); знаходження нових, максимально економічних структур комутаційних систем, що характеризувалися б оптимальною надмірністю, високою уніфікацією і т. ін. (оптимізація структур). Дано критичну оцінку традиційним підходам до вирішення цих проблем і резюмовано актуальність задачі створення нового методу моделювання ЦВК, яку поставлено у наступному вигляді. Розробити принципи побудови, відлагодження та випробування моделей ЦВК, які дали б можливість:

- 1) оцінити ефективність і основні показники якості функціонування ЦВК,
- 2) врахувати одночасний вплив на пропускну спроможність системи:
 - структури підсистеми управління, величини її ресурсів, алгоритму роботи,
 - складних імовірностних характеристик потоків вхідних заявок із зовнішнього оточення, взаємозв'язок різних заявок між собою,
 - блокувань у комутаційному полі,
 - наявності кількох паралельних потоків задач,
 - збоїв, відмов та інших додаткових факторів впливу;
- 3) легко перелаштовувати моделі на різноманітні:
 - умови функціонування в зовнішньому оточенні,
 - конфігурації підсистеми управління,
 - алгоритми функціонування,
 - показники якості обслуговування, що визначаються;
- 4) відносно просто будувати та експлуатувати модель без застосування процесу написання програм, одержувати результати в зручному вигляді;
- 5) мінімізувати кількість помилок при створенні складних моделей.

Зроблено критичний аналіз відомих методів моделювання і математичних формалізмів: кінцевих автоматів, агрегативних систем, лічильникових автоматів та машин Мінського, машин Тьюрінга, систем масового обслуговування, різноманітних схем паралельних програм (Карпа-Мілера, А-програми Котова-Наріньяні і т. ін.), а також мереж Петрі. Визначено, що найбільш придатними є імітаційні моделі на основі мереж Петрі. Останні, маючи високу наочність,

виражальну потужність і багато інших переваг у порівнянні із згаданими формалізмами, володіють найбільшою універсальністю, позаяк являють собою абстрактну умовно-подієву модель, що може бути застосованою практично до будь-якої системи.

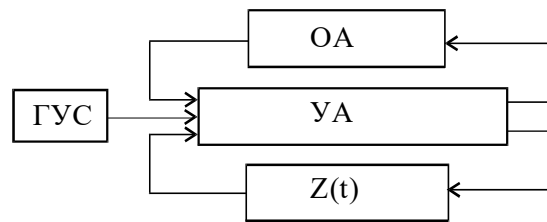




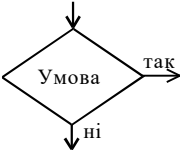
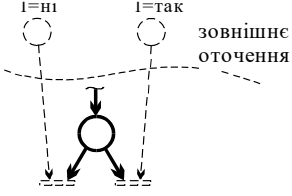
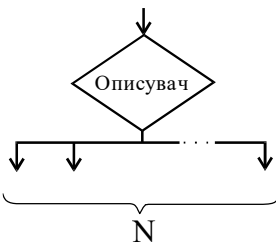
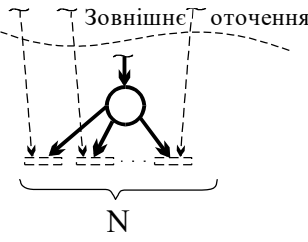
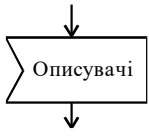
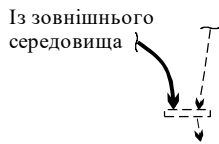
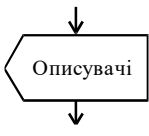

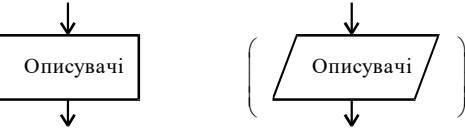

Рис.1. Базова модель SDL. ОА — операційний автомат, УА — управляючий автомат, ГУС — генератор управляючих сигналів, Z(t) — внутрішня пам'ять.

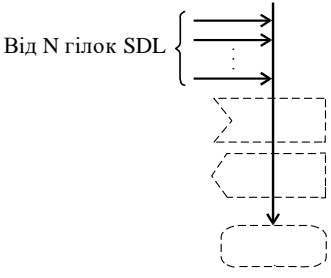
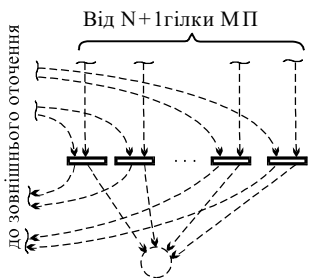
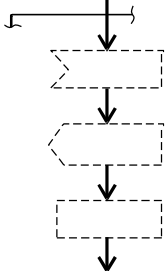

У розділі 2 розроблено методику побудови мережних моделей ЦВК. Вихідним пунктом для моделі вибрано склад процесів, що реалізуються ЦВК, вхідних і вихідних сигналів, станів і алгоритми їхньої зміни, які за рекомендаціями МККТТ на етапах специфікації-планування і системного проектування представляють у термінах SDL. На основі аналізу базової автоматної моделі SDL (рис.1), запропоновано розглядати єдину модель ЦВК як суперпозицію окремих підмереж, виділених за функціональною ознакою: алгоритму роботи, зовнішнього оточення, ресурсів управління. Встановлюються функціональні відповідності між операційним автоматом та генератором управляючих сигналів з одного боку та підмережою зовнішнього оточення з іншого, а також між управляючим автоматом і пам'яттю з одного боку і підмережами алгоритму і ресурсів управління з іншого. З огляду на те, що навіть на найбільш загальному рівні абстракції, що задається описом сукупного алгоритму функціонування ЦВК SDL-діаграмою, обсяг мережної моделі є досить великим і складним для наочного сприйняття і аналізу, в подальшому такий прийом виділення за функціональною ознакою окремих її частин поширюється й на менші фрагменти і дістає назву *функціональної декомпозиції* мережної моделі.

Розгляд аналогій між термінами кінцевих автоматів та визначеннями SDL дозволив встановити відповідність понять SDL СТАН та РІШЕННЯ умовам здійснення подій, тобто позиціям МП, а вершин SDL ЗАДАЧА, ЗАПАМ'ЯТОВУВАННЯ, та сукупностей дуг одного напрямку між парами вершин СТАН та РІШЕННЯ — самим подіям, тобто переходам МП. Вершини SDL ВХІД та ВИХІД описують обмін сигналами із зовнішнім оточенням і визначають відношення інцидентності з елементами підмережі зовнішнього оточення. Далі розглянуто деякі характерні фрагменти SDL-діаграм і дано їх інтерпретацію у термінах МП. Дано формальний опис процесу трансляції елементів SDL-діаграм і

МП на мові множин, графічні відповідності між ними резюмовано у вигляді табл.1 (скорочено).

Таблиця 1

№ з/п	Форма мови SDL	Форма мережі Петрі
	Словесний опис	Словесний опис
	Графічне зображення	Графічне зображення
1	Будь-яка вершина “Стан”, за виключенням початкової, яка ігнорується.	Вершина-позиція
		
2	Будь-яка вершина “Рішення”	Вершина-позиція
		
3	Вершина “Рішення” з розходимістю	Позиція з прямими інцидентностями
		
4	Будь-яка вершина “Вхід”	Інцидентна дуга із зовнішнього оточення
		
5	Будь-яка вершина “Вихід”	Інцидентна дуга у зовнішнє оточення
		
6	Будь-яка вершина “Задача” або “Запам’ятовування” разом із сукупністю дуг (див. п.8)	Вершина-перехід (або ігнорувати)
		
7	Сходимість дуг SDL	Окремі переходи інцидентні одній позиції

	
<p>8 Сукупність дуг одного напрямку між парою "Станів" або "Рішень"</p>	<p>Окремий перехід, який інцидентний парі відповідних позицій</p>
	

Для відтворення роботи реальних алгоритмів запропоновано використання часових та пріоритетних співвідношень у МП. Одним з варіантів деталізації часових параметрів моделі, що визначаються частковими алгоритмами функціонування ЦВК, запропоновано моделювання їх мережами Петрі з використанням відомого принципу трансляції блок-схем алгоритмів у МП, розглянуто принципи такого моделювання на прикладі часткового алгоритму пошуку проміжних шляхів з'єднання.

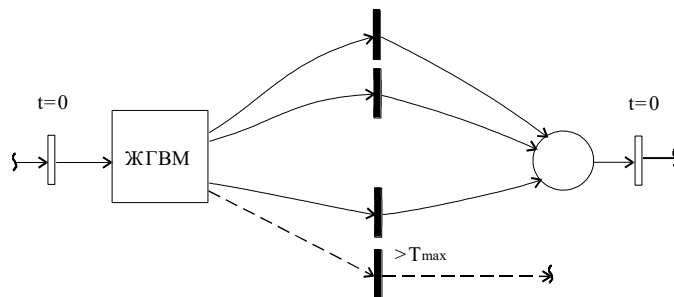


Рис.2 Реалізація випадкової часової затримки за допомогою ЖГВМ

Підмережа алгоритму є розімкненою МП, на входи її надходять мітки, що відповідають різним заявкам на обслуговування, джерелом яких є зовнішнє оточення. З огляду на вимогу узгодженості цих потоків між собою і з зовнішніми сигналами ЦВК, пропонується моделювати їх спеціальним розширенням МП, здатним відтворювати випадкові часову затримку і розподіл міток. Специфічними елементами тут є позиції генератора (ГВМ) та ждучого генератора випадкових міток (ЖГВМ)¹. Перший є джерелом потоку міток, що з'являються за заданим випадковим законом, а другий для кожної мітки, що надійшла, реалізує випадкову

¹ Скорочення ГВМ та ЖГВМ використовуватимуться й надалі.

функцію модифікації пріоритетів своїх вихідних переходів, закон розподілу якої також задається (рис.2). Змінюючи часові затримки вихідних переходів ЖГВМ та їх кількість, можна з потрібною точністю моделювати випадкову часову затримку з довільним законом розподілення, що задається імовірностями спрацювання переходів. Як видно з рис.2, один з цих переходів може моделювати перевищення максимально допустимого часу. Для відтворення випадкового характеру дій абонента використовується така сама конструкція, яка відрізняється тим, що вихідні переходи ЖГВМ зворотно інцидентні різним позиціям. Для дотримання черговості і часу видачі міток, логіку роботи переходу описано конструкцією – рис.3. Розглянуто характерні фрагменти підмереж алгоритму і їхні відповідники у підмережі зовнішнього оточення, а також питання стикування двох підмереж. Розроблені принципи підсумовано у вигляді послідовності дій по створенню графа підмережі зовнішнього оточення.

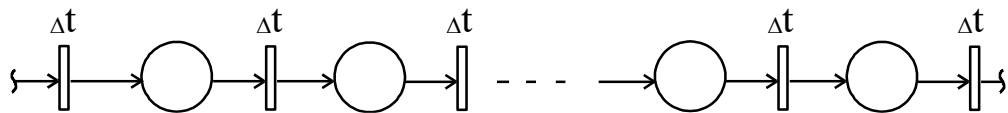


Рис.3. Конструкція часового переходу

Конкретні організаційно-технічні особливості ЦВК за прийнятою концепцією описуються підмережею ресурсів управління. Запропоновано відтворювати вплив обмеженості ресурсів у мережній моделі введенням так званих *ресурсних* позицій, що інцидентні переходам підмережі алгоритму. Ці позиції є образами *суттєвих* складових ресурсу управління ЦВК, тобто таких, без наявності достатньої кількості котрих не можна реалізувати принаймні один частковий алгоритм, що описано переходом підмережі алгоритму. На основі аналізу типових структур електронних управляючих систем (ЕУС) централізованого, децентралізованого та ієрархічного типів, конкретних прикладів ЕУС (“Нева”, ДХ-200 та ІТТ-1240) зроблено такі висновки.

1) Суттєвими компонентами централізованих ЦВК є станційні комплекти, продуктивність процесорів та масиви оперативної пам’яті (ОЗП), в яких:

- здійснюється не тільки зчитування, але й запис інформації пов’язаної з процесом, що виконуються,
- комірки масиву пам’яті здатні набувати незайнятого (вільного від наявності інформації) стану,
- комірки масиву пам’яті не закріплено жорстко за пристроями ЦВК.

2) Суттєвими компонентами децентралізованих ЕУС є станційні комплекти (при наявності), продуктивність різних мікроЕОМ.

3) Ресурсом процесора (мікроЕОМ), доступним для обслуговування викликів, є лише та частина його продуктивності, яка не відтягнута на виконання регулярних програм і враховує втрати на конфлікти при доступі до ОЗП.

4) Кількість одного ресурсу, що захоплюється і повертається одним викликом на різних стадіях обслуговування може бути різною.

5) У випадку розділення навантаження між процесорами (мікроЕОМ) має місце розпаралелення потоків заявок.

6) При динамічному розподілі ОЗП структуру ЕУС слід вважати змінною.

По цих висновках запропоновано принципи визначення складу ресурсних позицій моделі, її структурних параметрів, початкової розмітки, прийоми опису структур управління ЦВК, що враховують розпаралелення потоків заявок та змінність структури ЕУС. Зокрема пропонується неповнодоступне закріплення обслуговуючих пристроїв відображати паралельними ідентичними гілками (підмережами), а в разі їх великої кількості моделювати ЖГВМ, або перераховувати сумарну величину ресурсу групових обслуговуючих пристроїв у єдиний для всього потоку заявок спільний ресурс за критерієм рівності величини втрат (див. приклад на рис.4а). При цьому група джерел навантаження замінюється одним, потік заявок якого еквівалентний потоку групи, а групові ресурси замінюються одним спільним (рис.4б).

Розроблені принципи підсумовано у вигляді послідовності дій по структурному опису ресурсів управління ЦВК.

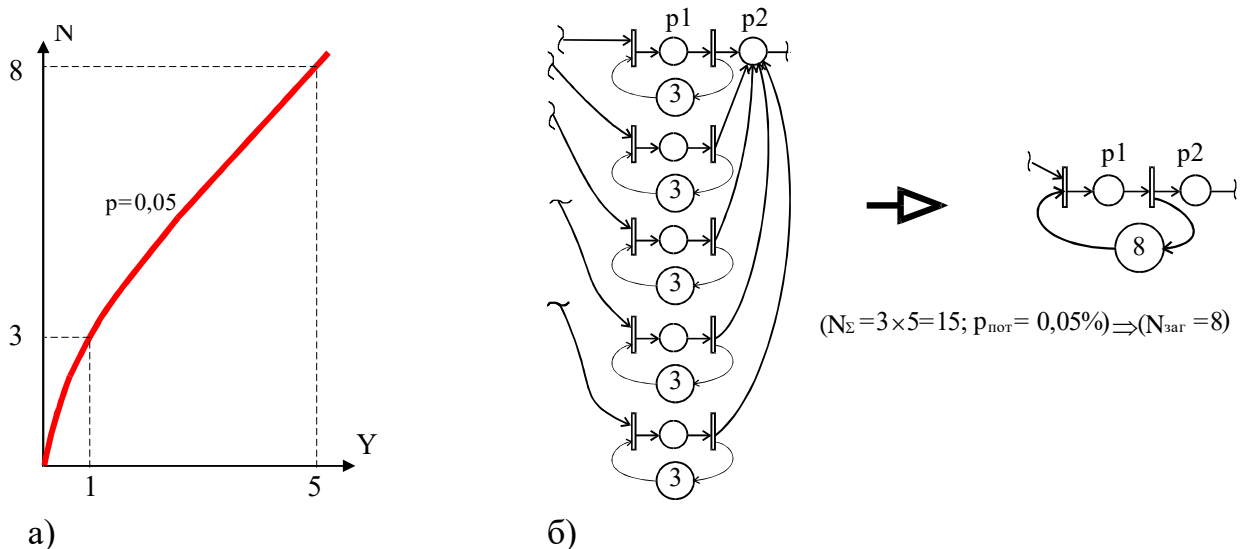


Рис.4. До принципу перерахунку групових ресурсів у спільний

В кінці розділу розглянуто додаткові фактори, такі як збої, тимчасові відмови та ін., що можуть вплинути на реальні показники функціонування ЦВК. Показано, що залежно від природи цих факторів, враховувати їхній вплив слід або

перерахунком імовірностних параметрів моделі, або шляхом їх мережного опису в окремій підмережі впливу з використанням ЖГВМ.

У розділі 3 проведено пошук засобів якісного (алгоритмічних властивостей) та кількісного (показників функціонування) аналізу запропонованих мереж, шляхом оцінки можливості застосування відомих та висунення нових методів. Для цього розглянуто основні алгоритмічні властивості МП: обмеженості, безпеки, консервативності, несуперечності, живості та потенційної живості, термінальності, стійкості, дано їх смислово інтерпретацію до мережних моделей ЦВК. Визначено, що для оцінки їх коректності доцільним є аналіз на обмеженість, несуперечність, живість і термінальність.

У теорії МП проблема обмеженості для звичайних асинхронних МП є вирішуваною. Втім, запропоновані мережні моделі є розімкненими, часовими, пріоритетними, включають специфічні позиції ГВМ та ЖГВМ. Для аналізу вирішуваності проблеми по них запропоновано провести їх *ітерацію*, сформульовано і доведено твердження, що покриваюче дерево часової мережі вкладається у покриваюче дерево тієї ж МП без часових затримок. Відтак, з урахуванням відомих положень теорії МП, визначено, що проблема обмеженості звичайних МП є ширшою, тобто її вирішуваність для останніх є достатньою (але не необхідною!) умовою і для вказаних мереж. Вирішуваність проблеми несуперечності обумовлена введенням ЖГВМ, пріоритетів та правила стикування підмереж алгоритму та зовнішнього оточення. Строге доведення вирішуваності проблеми живості невідоме. Наведене вище твердження щодо покриваючого дерева часової мережі є достатньою умовою вирішуваності і проблеми потенційної живості у класі часових МП. Проте введення пріоритетів виключає її достатність. Показано, що структурні обмеження запропонованих мережних моделей все-таки обумовлюють вирішуваність згаданої проблеми, позаяк наявність ЖГВМ принципово не впливає на неї в силу їх еквівалентності елементам звичайних МП. Проблему термінальності можна розглядати, як окремий випадок проблеми досяжності: чи може МП, при заданій початковій розмітці M_0 , досягти одну з розміток M' : $M'(p)'=M_0(p)'$, де p' — будь-яка нетермінальна позиція. Як відомо, проблеми досяжності і живості взаємно еквівалентні. Тому можна вважати проблему термінальності вирішуваною.

Для оцінки алгоритмічних властивостей складних мережних моделей ЦВК запропоновано використання їх функціональної декомпозиції на фрагменти, що підпорядковуються топологічним обмеженням відомих підкласів МП, а з іншого боку відтворюють певні функції оригіналу, або його частину. До уваги взято три характерних фрагменти:

1) окремо взята підмережа алгоритму, інцидентності з елементами інших підмереж, часові затримки, пріоритети виключено;

2) підмережа зовнішнього оточення, взята разом з підмережею алгоритму, в якій ЖГВМ замінено звичайними позиціями, виключення аналогічні;

3) одна ресурсна позиція і сукупність елементів всіх простих циклів, що включають цю позицію і елементи підмережі алгоритму, виключення ті самі.

Показано, що прийнятий порядок побудови мережі зумовлює приналежність фрагментів 1) — до класу автоматних, а 2) — до простих чистих ординарних МП, а з деякими виключеннями — також до автоматних, що є ознакою їх правильної побудови одним із критеріїв коректності моделі. Фрагмент 3) належить до замкнених циклічних МП. Для фрагментів 2) і 3) сформульовано і доведено 7 теорем, які пов'язують їх топологію з алгоритмічними властивостями. Відтак, аналіз коректності моделі на основі топологічних обмежень полягає у функціональній декомпозиції, перевірці фрагментів 1) і 2) (з виключеннями) на приналежність до класу автоматних МП, перевірці фрагментів 2) на приналежність до простих чистих ординарних МП і на відповідність теоремам, перевірці фрагментів 3) на відповідність теоремам. Розглянуто можливість застосування для аналізу відомого методу рівнянь стану мережі, оснований на рекурсивних рівняннях виду

$$M_k = M_{k-1} + A^* U_k,$$

де k — номер такту роботи МП,

M_k — розмітка СП після k тактів роботи (M_0 — початкова розмітка),

A^* — транспонована матриця додання міток в позиції.

Рішеннями матрицевих рівнянь:

$$AX = 0; \quad A^*Y = 0,$$

є відповідно r -інваріант X та t -інваріант Y , по ознаках яких можна зробити висновки про достатні умови обмеженості ($X > 0$) та стійкості й живості ($Y > 0$). З рівнянь стану СП можна отримати співвідношення:

$$\begin{cases} BM = BM_0; \\ O^*M = O^*E - E, \end{cases}$$

де O^* — транспонована матриця зворотних інцидентностей,

E — одиничний вектор,

B — матриця інваріантів.

Рішеннями системи відносно M є тупикові розмітки. Оскільки пропонувані МП очевидно не є стійкими, зроблено висновок про доцільність використання методу для виявлення обмеженості та тупикових розміток.

Для аналізу невеликих мереж (при моделюванні часткових алгоритмів) запропоновано відомий метод автоматичної побудови покриваючого дерева досяжності. Визначено, що для адекватного відтворення стану мережної моделі необхідно трансформувати вектори розміток МП у матриці введенням часової координати виміру (рис.5). При цьому зберігаються відношення порівняння листів дерева (більше, менше, рівно), набуваючи матрицевої форми.

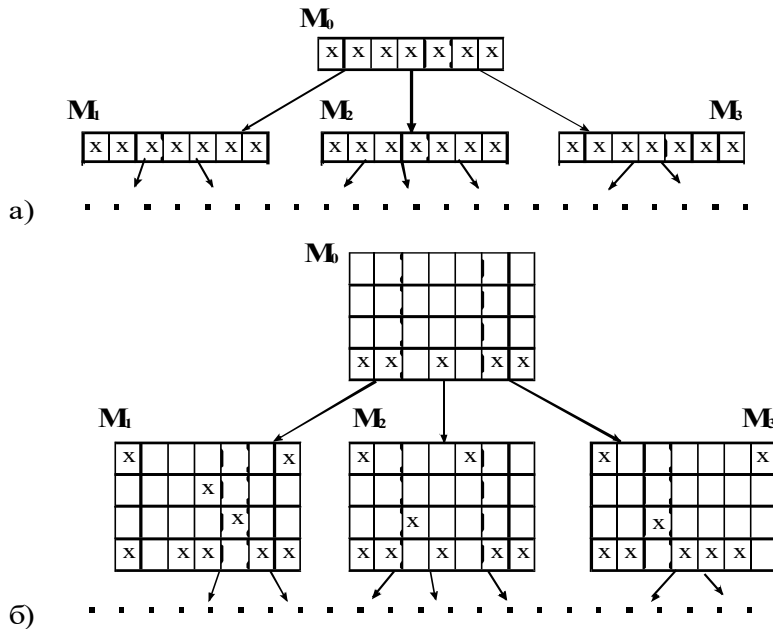


Рис.5. Структура покриваючих дерев: а) для звичайної, б) для часової МП

В кінці розділу проаналізовано способи кількісного аналізу мереж, а саме методи *імітаційного моделювання* і *розкладання на інваріантні та спроможні підмережі*. Визначено, що МП задає формат вихідних даних і структуру імітаційних програм у зручній, наочній формі. Всі специфічні чинники мережних моделей ефективно описуються мовами програмування. Зміна структурних параметрів моделі є зміною матриць інцидентності, а функціональних — перетворенням векторів розмітки, затримок, пріоритетів і законів розподілу ГВМ, ЖГВМ. Можливою є побудова універсальної моделюючої програми. Одержання результатів зводиться до аналізу розмітки. Апарат МП допускає реалізацію запам'ятовування, різних логічних і обчислювальних функцій, що спрощує такий аналіз, дозволяє одержати результат у зручному вигляді. Імітаційне моделювання вибрано основним засобом кількісного аналізу.

Відомий метод розкладання на інваріантні та спроможні підмережі дійсний для ординарних чистих часових замкнених МП строго циклічної структури з постійними часовими затримками в позиціях. Зарядом мережі є

$$Q^* = | q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n, |,$$

де Q^* — транспонований вектор заряду,

q_i — розмітка i -ї позиції,

n — число позицій.

Кількісні характеристики визначає вектор струму $I(t)$:

$$I(t) = \frac{\psi(t)}{\Delta t},$$

де $\Psi(t)$ — вектор кількості спрацьовувань переходів за час Δt .

Роботу МП описують матрицеві рівняння, рішення яких вимагає розкладу її на простіші і дає або максимальні струми I , або вимоги до початкової розмітки Q , залежно від постановки. Наведені обмеження цього методу для мережних моделей ЦВК не виконуються, тому зроблено висновок про застосування його лише для аналізу часових параметрів часткових алгоритмів.

У розділі 4 розроблено рекомендації з практичної реалізації аналізу мережних моделей, які узагальнено у метод імітаційного моделювання ЦВК. Для визначення шляхів якісного аналізу мережних моделей наведено класифікацію потенційних помилок, і рекомендації з їх усунення, а у додатку А — лістинги двох програм, що практично це реалізують. Зазначено, що гарантована ліквідація всіх потенційних помилок в принципі не можлива, тому слід використовувати наочність моделей і критичну оцінку результату.

Для розробки загальної концепції роботи імітаційної моделі розглянуто особливості, що накладаються вказаними принципами побудови мереж. Визначено, що вона має бути синхронною, часові затримки присвоюються переходам. Проаналізовано три можливі альтернативи динаміки заявок в ній:

- надходження і пересування заявок відбувається “порціями” довільної величини за такт роботи мережі,
- надходження — не більше 1 заявки за такт, пересування — “порціями”;
- надходження і пересування індивідуальні, тобто “1мітка = 1заявка”.

Найменших додаткових модифікацій МП вимагає останній варіант, який і взято за основу динаміки моделі. Тоді мережна модель задається набором N_E

$$N_E = \{P, D, F, H, M_0, \tau, T, Pr, G_0, G, \vec{p}_G\},$$

де P — множина всіх вершин позицій;

D — множина всіх вершин переходів;

F — пряма функція інцидентності;

H — зворотна функція інцидентності;

M_0 — початкова розмітка мережі;

τ — часова база мережі;

T — вектор часових затримок переходів;

Pr — вектор пріоритетів переходів;

G_0 — множина вершин-позицій ГВМ;

G — множина вершин-позицій спеціального типу — ЖГВМ: $(G \cup G_0) \subset P$;

\vec{p}_G — множина векторів розподілу імовірностей по виходах ЖГВМ (G):

$$\vec{p}_{Gn} = \{ \vec{p}_{Gn}, \vec{p}_{Gm}, \dots, \vec{p}_{Gk} \},$$

де n, m, k — номери позицій ЖГВМ,

$\vec{p}_{Gn,m,\dots,k}$ — вектори розподілу імовірностей по виходах позицій $G_{n,m,\dots,k}$.

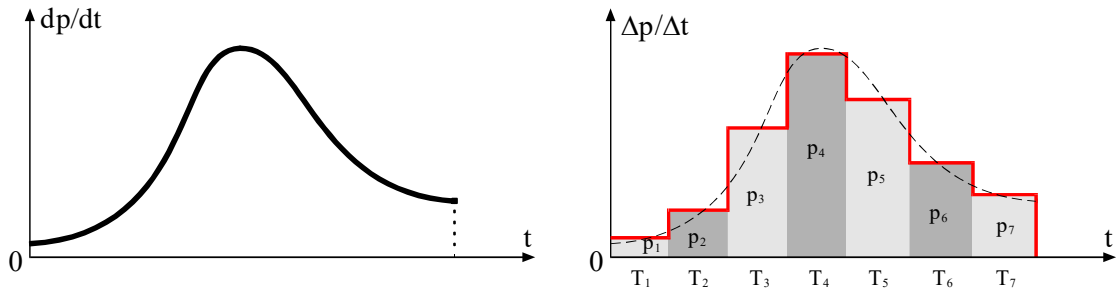


Рис.6. Задавання довільного закону розподілу ЖГВМ

Множини, що входять до N_E повністю визначають модель ЦВК і є вихідними даними для універсальної моделюючої програми¹. Розроблено рекомендації по їх призначенню: нормуванню M_0 і приведенню її до кратностей дуг, вибору T, Pr, τ і т.д. Зокрема пропонується задавати довжини такту τ так, щоб імовірність надходження більше 1 заявки за τ була прийнятно малою, випадкові закони ЖГВМ задавати гістограмою (рис.6), використовувати приведені бенчмарковські оцінки процесорів для задавання T і т.ін. Найскладніший пункт вихідних даних — одержання матриць інцидентності F і H — автоматизовано. Додаток Б містить блок-схему, пояснення і лістинг програми, що генерує F і H , аналізуючи складне графічне зображення МП.

Для визначення шляхів одержання показників функціонування розглянуто ряд найважливіших показників, що характеризують ЦВК за різних дисциплін обслуговування заявок. Запропоновано вести підрахунок потрібних величин засобами МП з використанням додаткової підмережі обчислень, розроблено рекомендації з її побудови, наведено характерні приклади.

В кінці розділу узагальнено розроблені принципи, засоби і прийоми у новий метод моделювання ЦВК, який викладено у вигляді послідовності дій з побудови й випробувань моделей при використанні згаданих програм (додатки А,Б,В) і графічного пакету AutoCAD R14. Метод включає 7 етапів.

1. Мережний опис загального алгоритму функціонування ЦВК.
2. Мережний опис зовнішнього оточення.
3. Мережний опис ресурсів підсистеми управління ЦВК.

¹ Таку програму створено за прийнятою концепцією і наведено у додатку В.

4. Врахування додаткових факторів впливу. Задавання елементів МП для визначення показників функціонування по мережній моделі ЦВК.
5. Задавання динамічних параметрів МП: імовірностей ЖГВМ, часових затримок, пріоритетів, початкової розмітки.
6. Визначення матриць інцидентності. Перевірка коректності моделі.
7. Випробування моделі. Обробка результатів.

За цим методом проведено побудову і випробування моделі реального ЦВК типу DX-220 для оцінки надміру ресурсів управління (докладно викладено у додатку Д.1). Визначено, що в типовій конфігурації ємністю 2048№, надмірність ресурсів складає $(43 \div 75)\%$. У додатку Д.2 розглянуто приклад використання методу з метою оптимізації структури управління ЦВК.

ВИСНОВКИ

В роботі було поставлено задачу розробки принципів інженерного моделювання ЦВК, що забезпечують формальний опис ЦВК довільної структури і автоматизований аналіз мережних моделей; систематизації та узагальнення їх у метод; програмної реалізації найважливіших положень методу. У відповідності до цього розглянуто різноманітні конкретні реалізації ЦВК і традиційні засоби їхнього моделювання, проведено дослідження альтернативних математичних схем для моделей, розроблено, випробувано і впроваджено новий метод моделювання, реалізовані програмно універсальний моделюючий алгоритм, одержання матриць інцидентності по кресленню моделі, ряд положень якісного аналізу моделі. Наукове значення роботи полягає в розвитку принципів функціонального і структурного опису ЦВК, дослідженні можливостей застосування відомих класів МП для цієї мети, що призвело до відшукування нового розширення МП, знаходженні засобів аналізу для нього, в розвитку принципів реалізації мережних моделей на ЕОМ з використанням комп'ютерної графіки, програмної обробки графічного зображення моделі.

По результатах роботи можна зробити наступні висновки.

1. Розроблено новий метод імітаційного моделювання ЦВК, який ґрунтується на їх формальному описі засобами МП. Вихідними даними для моделі є функціональна специфікація ЦВК, структурні рішення етапу системного проектування, технічні характеристики елементів підсистеми управління. Результат — прогноз потрібних якісних показників функціонування ЦВК.

2. Для побудови моделей запропоновано: використання функціональної декомпозиції мережної моделі на етапах її створення та відлагодження; опис

алгоритмічного забезпечення трансляцією SDL-діаграм у МП; опис зовнішнього оточення мережною схемою випадкових подій з випадковими управляючими функціями; опис внутрішньої організації ЦВК шляхом виділення суттєвих ресурсних компонент та створення відповідних їм позицій МП.

3. Запропоновані модифікації МП: для відтворення часового характеру роботи ЦВК — синхронна часова МП із затримками у переходах; для логіки зміни станів та матриці пріоритетів переривань часткових алгоритмів — пріоритетність МП; для стохастичності зовнішнього оточення — спеціальні позиції ГВМ та ЖГВМ, що реалізують випадкові функції збудження переходів.

4. Запропоновано ряд прийомів і теоретичних тверджень для перевірки коректності моделей, аналізу їх алгоритмічних властивостей, які ґрунтуються на положеннях теорії МП і використовують функціональну декомпозицію, ітерацію, топологічні обмеження, що накладаються методикою їх побудови.

5. Розроблено концепцію роботи загальної мережної моделі, на основі якої створено програми для її побудови, відлагодження і випробувань.

6. На відміну від традиційних методів, новий дозволяє розділити побудову моделі і написання універсальної програми, що дає можливість його інженерного використання фахівцями з комутаційної техніки без навичок програмування. Метод дозволяє також оперувати з моделями високого ступеня детальності внаслідок ієрархічності МП — будь-який перехід може бути інтерпретований як підмережа, викреслена в окремому шарі або в іншому масштабі. Принцип розшарування розв'язує протиріччя між складністю і наочністю, що значно полегшує процес відлагодження складних моделей. Рекомендовані графічні системи із вбудованою мовою програмування, наприклад AutoCAD.

7. Обсяг задачі моделювання визначається переважно кількістю переходів, в меншій мірі позицій, інтенсивністю вхідного навантаження, точністю моделювання і обмежується швидкістю комп'ютера. Шляхи підвищення вирішуваного обсягу задач — мінімізація числа переходів, використання швидкодіючих комп'ютерів, оптимізованих за швидкістю компіляторів та мов програмування низького рівня, одночасні випробування моделі на кількох ЕОМ.

8. Розроблений метод забезпечує можливість модифікації мережної моделі шляхом простого редагування її креслення і текстових файлів настройки, що значно спрощує дослідження поведінки оригінала у різноманітних специфічних умовах функціонування.

9. Вірогідність результатів і обґрунтованість застосування нового методу підтверджено випробуванням моделей реальних ЦВК, порівнянням прогнозу показників функціонування з технічними або статистичними даними.

10. Рекомендоване використання розробленого методу: в організаціях, що експлуатують ЦВК з метою технічної експертизи рішень по вибору нового обладнання, уточненню його конфігурації у конкретних умовах роботи; в проектних організаціях – для уточнення складу обладнання в техніко-економічних обґрунтуваннях і робочих проектах з модернізації існуючих і створенню нових мереж зв'язку; в проектно-конструкторських організаціях – для оцінки якості проектних рішень при розробці нових і модернізації існуючих ЦВК, а також як елемент САПР ЦВК.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в таких працях.

1. Книгавко Н.В., Журавель В.А. Функциональное описание процесса управления коммутацией на основе сетей Петри // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте.- 1997.- №2.- С.25-31.

Журавлю В.О. належить обґрунтування принципів функціонального описання комутаційних систем.

2. Книгавко Н.В., Журавель В.А. Моделирование внешнего окружения коммутационных систем с использованием сетей Петри // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте.- 1998.- №2.- С.45-50.

Журавлю В.О. належить обґрунтування принципів формування потоків заявок.

3. Журавель В.О. Про графи досяжних розміток деяких розширень мереж Петрі // Збірник наукових праць Київського інституту залізничного транспорту. - К.: КІЗТ. - 1999. - №2.- С. 173-176.

4. Книгавко Н.В., Журавель В.О. Мережевий опис структур керуючих пристроїв централізованих вузлів комутації // Мережі і системи телекомунікацій на залізничному транспорті / Міжвузівськ. зб. наук. пр.- Вип. 35. - Харків: ХарДАЗТ. - 1999. - С. 27-36.

Журавлю В.О. належить методика структурного описання ресурсів управляючих пристроїв на основі мереж Петрі.

5. Журавель В.О. Про оцінку розв'язуваності алгоритмічних проблем для деяких розширень мереж Петрі // Мережі і системи телекомунікацій на залізничному транспорті / Міжвузівськ. зб. наук. пр.- Вип. 35.- Харків: ХарДАЗТ - 1999. - С. 45-49.