

УДК 681.518:378

В.Ф. Шапо¹, канд. техн. наук, доц.,
А.О. Воропаєва², канд. техн. наук,¹Одеська національна морська академія, м.Одеса²Донецький національний технічний університет, м. Красноармійськ
stani@te.net.ua, voropaeva_anna@meta.ua

Метод вибору характеристик і розрахунку завантаження промислових обчислювальних систем і комп'ютерних мереж

Запропоновано метод розрахунку обсягу даних, що передаються по промисловій комп'ютерній мережі в залежності від задач, які вона вирішує, та кількості промислового обладнання. Проаналізовано характеристики мікроконтролерів, які є основою для керуючих обчислювальних систем на виробництві. Отримано математичні залежності, що дозволяють розрахувати обсяг даних, які передаються по промисловій комп'ютерній мережі, та її потрібну пропускну здатність. Надано рекомендації з вибору пропускну здатності сегментів промислової комп'ютерної мережі, швидкодії процесорів та обсягу пам'яті мікроконтролерів при виборі конфігурації управляючих обчислювальних систем в промислових комп'ютерних мережах.

Ключові слова: промислова комп'ютерна мережа, пропускну здатність, обсяг даних.

Загальна постановка проблеми

Основою стабільності та розвитку економіки будь-якої держави є промисловість, що випускає широкий спектр продукції високої якості та потрібної кількості. Для рішення цієї задачі компанії-виробники втілюють автоматичні лінії, автоматизовані системи управління виробництвом (АСУВ), автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП), засновуючись на сучасних на відповідний момент наукових методах й технічних рішеннях, що дозволяють підвищити якість продукції, збільшити її кількість й вирішити такі задачі, які неможливо було вирішити до появи цифрових технологій. З початку 1990-х рр. в області автоматизації багатьох типів виробництв почали активно впроваджувати промислові комп'ютерні мережі, що охоплюються терміном fieldbus, який став стандартним.

На теперішній час налічується більш 50 типів промислових мереж та протоколів передавання даних. Найбільш відомі ProfiNet, HART, Modbus, Profibus, DeviceNet, CAN, CANopen, LonWorks, FoxCom, ControlNet, SDS, Seriplex, BACnet, FIP, ASI, Industrial Ethernet, WorldFIP, Foundation Fieldbus, Interbus, BitBus та інші, але широко відомі лише деякі. Для забезпечення сумісності між приладами, технологіями, протоколами передавання даних множини стандартів, версій, поколінь та виробників розроблено інтерфейс FDT (Field Device Tool) – специфікація, що описує стандартизований обмін даними між приладами й системою управління або засобами управління технічними засобами або активами (EAM, Enterprise Asset Management) для АСУТП.

FDT стандартизує комунікаційний та конфігураційний інтерфейс між всіма виробничими об'єктами та приладами і управляючими комп'ютерними системами та забезпечує загальне середовище для доступу до інтелектуальних можливостей приладів. Будь-який fieldbus-прилад можна конфігурувати, управляти ним, здійснювати технічну підтримку поза залежністю від його типу, постачальника або комунікаційного протоколу, використовуючи стандартизований інтерфейс користувача [1]. При цьому пристрої введення-виводу можуть бути розміщені в диспетчерській поруч з управляючими контролерами, мікропроцесорними системами та робочими станціями, або поруч з приладами вимірювання, обліку й управління на технологічних об'єктах.

Оскільки універсальний інтерфейс FDT [1] розроблено нещодавно, він має мале розповсюдження і в випадку успіху буде втілюватися на протязі ряду років або ж не отримує помітного застосування, в теперішній час для побудови відкритих систем автоматизації, де має місце взаємодія множини типів й моделей приладів, що випущені різноманітними виробниками, з використанням великої кількості технологій та протоколів, актуальною є задача їх вибору з врахуванням вимог реального часу, пропускну здатності мережі, живучості, часу реакції на події, числа обслуговуваних пристроїв та інших характеристик.

Рішення задач та результати досліджень.

В даній роботі запропоновано метод розрахунку завантаження промислових комп'ютерних

мереж та визначення характеристик керуючих обчислювальних систем.

При управлінні технологічними процесами для отримання інформації від об'єктів управління використовується безліч датчиків різного типу: тиску, температури, рівня, щільності речовини, витрати, вологості, радіоактивності, кута повороту, відстані, висоти, хімічного складу, в'язкості, руху, вібрації і т. д. Сигнали від аналогових датчиків перетворюються в цифрову форму за допомогою аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) і поступають на різні управляючі мікроконтролери (МК), мікропроцесорні системи, офісні та промислові комп'ютери, що об'єднуються різними типами офісних та промислових комп'ютерних мереж.

Завантаження таких мереж може бути великим, оскільки в них відбувається активний обмін даними між працюючим обладнанням, управляючими комп'ютерними і мікропроцесорними системами, програмними SCADA-системами (Supervisory Control And Data Acquisition, диспетчерські системи управління і збирання даних на виробництві), програмними HMI-системами (Human/Machine Interface, людиномашинний інтерфейс), різноманітними програмними комплексами, серверами OPC (OLE for Process Control, основний стандарт взаємодії між програмними компонентами SCADA-систем; OLE – Object Linking and Embedding, зв'язування та інтегрування об'єктів, – основний стандарт взаємозв'язку між різноманітними документами, що дозволяє передавати частину даних від одного програмного комплексу до іншого та повертати результати обратно), ієрархічними системами збирання та відображення інформації, системами управління технологічними процесами, в т.ч. й різноманітними складними, територіально розосередженими системами збирання даних та управління на основі промислових стандартів.

Структурна схема взаємодії окремих компонентів промислової мережі і офісного підрозділу підприємства представлена на рис. 1.

Збирання і обробка даних на виробництві можуть бути реалізовані наступними основними способами.

1. Обробка проміжною управляючою обчислювальною системою (ОС) всіх даних від всіх типів устаткування, яке працює в найближчому оточенні (декілька десятків або декілька сотень

квадратних метрів, залежно від типа виробництва).

Нехай необхідно обробити дані, що поступають від n датчиків, виконавчих механізмів та інших пристроїв, які можуть бути поділені на t підтипів для отримання точних значень впливу пристроїв кожного підтипу на завантаження мережі та обладнання в процесі експлуатації автоматизованої системи або при плануванні її модернізації, коли існує чи може бути заплановано до встановлення означена кількість (k) пристроїв

кожного типу, при цьому $n = \sum_{i=1}^t k_i n_i$.

В загальному випадку об'єм даних V_f , що передаються, і мінімальна потрібна пропускна здатність мережі B_f складуть відповідно

$$V_f = \sum_{i=1}^n V_i, \quad (1)$$

$$B_f = \sum_{i=1}^n B_i \quad (2)$$

де V_i – об'єм даних, переданих на управляючу обчислювальну систему від i -го пристрою.

B_i – пропускна здатність мережі, потрібна для передавання даних від i -го пристрою.

Можлива ситуація, коли кілька однотипних пристроїв передають однакові об'єми даних до управляючої ОС і створюють однакове навантаження на мережу (наприклад, кілька датчиків деякого технологічного параметра або величини опитуються з однаковою частотою, а число значень величини, що вимірюються та передаються, співпадає). В такому випадку об'єм даних V_f , що передаються, та мінімальна потрібна пропускна здатність мережі B_f можуть бути розраховані наступним шляхом:

$$V_f = \sum_{i=1}^n k_i V_i, \quad (3)$$

$$B_f = \sum_{i=1}^n k_i B_i, \quad (4)$$

де k_i – число однотипних пристроїв i -го типу, що генерують однаковий об'єм даних, які передаються на управляючу ОС та створюють однакове навантаження на мережу.

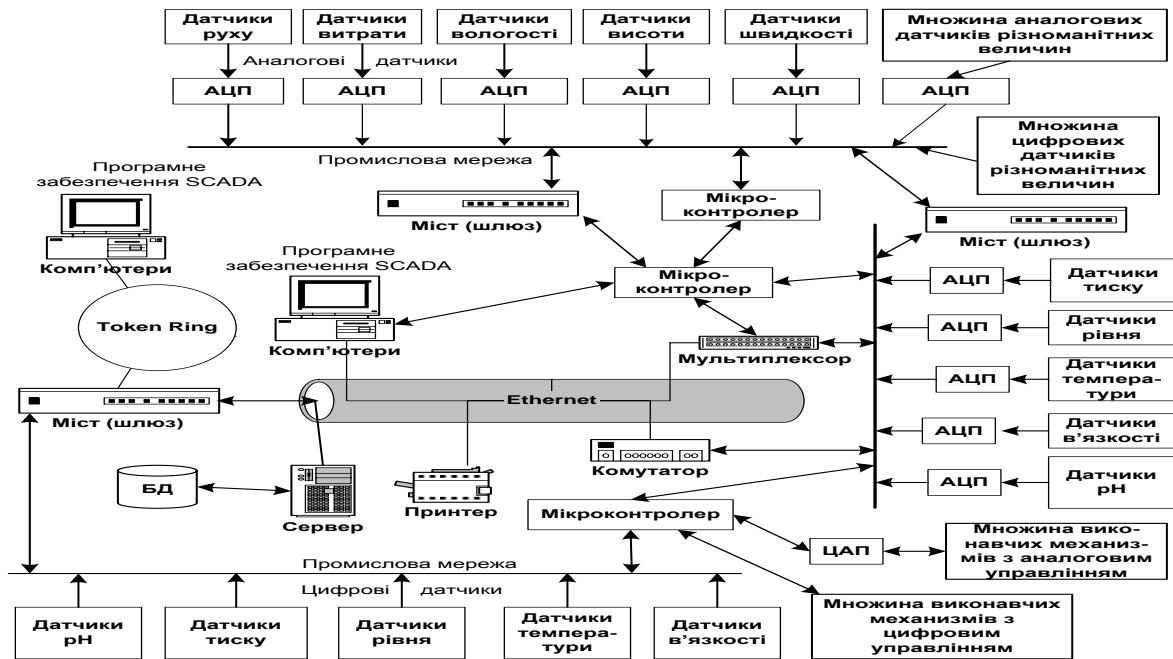


Рисунок 1 - Структурна схема промислової мережі

Нехай в структурі мережі є m управляючих ОС, які передають дані на центральну управляючу ОС. Тоді об'єм даних V_{fc} , що передається на центральну управляючу ОС та мінімальна потрібна пропускна здатність відповідного сегмента мережі B_{fc} складуть відповідно

$$V_{fc} = \sum_{k=1}^m V_{fk}, \quad (5)$$

$$B_{fc} = \sum_{k=1}^m B_{fk}. \quad (6)$$

де V_{fk} – об'єм даних, що передаються на центральну управляючу ОС від k -ої управляючої ОС;

B_{fk} – пропускна здатність мережі, потрібна для передавання даних від k -ої управляючої ОС.

Для розрахунку пропускної здатності мережі і обсягу даних, що передаються, необхідно врахувати частоту опитування інтелектуальних пристроїв управляючої ОС і кількість значень параметра, який вимірюється. Наприклад, частота опитування пристрою складає 5 разів за секунду, а кількість можливих значень вимірюваної величини складає 200. Така кількість значень може бути закодована вісьмома бітами ($2^8 = 256$) або одним байтом, тобто $V_i = 1$ байт, тоді мінімальна пропускна здатність мережі (потрібна швидкість передавання даних) B_i для вказаного типу даних дорівнює 5 байт/с або 40 біт/с.

Для визначення міри завантаження мережі та управляючої ОС при управлінні конкретними технологічними параметрами (тиском, температурою і т.д.) доцільно використовувати запропоновані вище співвідношення для розрахунку від-

повідних величин і візуалізації отриманих значень разом і окремо в окремих вікнах програмного інтерфейсу.

2. Обробка управляючої ОС даних тільки від визначених типів обладнання, яке працює в найближчому оточенні, тобто використання проміжних управляючих ОС, що вирішують задачу обліку та обробки значень лише одного технологічного параметру. Такий підхід може привести до суттєвого зростання трафіку в мережі, замість його обробки на найближчій управляючій ОС, а також до зростання числа проміжних управляючих ОС, яке буде зростати пропорційно зростанню числа параметрів, що оброблюються, та вартості проекту. Важливою позитивною якістю такого підходу є забезпечення більш високої живучості промислової мережі в зв'язку з встановленням більшої кількості управляючих ОС меншої швидкодії та, відповідно, меншої вартості. Можливе збільшення відстаней при передачі даних, хоча й призводить до збільшення довжини кабельних систем, але не є перешкодою, оскільки передача даних без використання повторювачів можлива на відстань в кілька десятків кілометрів [9].

Проміжні управляючі ОС можуть бути об'єднані одна з іншою та з головною управляючою ОС з використанням типових стандартних або змішаних топологій (шина, зірка, кільце, дерево або їх комбінація). Вибір кількісних характеристик технологій та протоколів передавання даних між проміжними управляючими ОС та основною управляючою ОС може бути формалізовано таким чином.

Пропускна здатність B_c окремих сегментів мережі вибирається на базі розрахованих B_{fc} на-

ступним шляхом: ϵ q_1 промислових мережевих технологій, які мають пропускні здатності, відсортовані за зростанням: $B = \{B_1, B_2, \dots, B_{m1}, \dots, B_{q1}\}$. Тоді $\forall i, \exists B_{m1}, B_{m1-1} < B_{jc} \ \& \ B_{m1} > B_{jc}$. При виборі промислової мережевої технології вибирається найближче більше значення пропускної здатності, тобто $B_{jc} := B_{m1}$.

Розрахований обсяг даних, що передавались та пропускна здатність мережі можуть бути використані для формалізації та автоматизації вибору обсягу оперативної пам'яті керуючих ВС та пропускної здатності обладнання мережі.

Обсяг оперативної пам'яті V_e МК керуючих ВС обирається на базі розрахованих V_{jc} наступним чином: q_2 стандартних ВС з різними можливими обсягами оперативної пам'яті, відсортовані за зростанням: $V = \{V_1, V_2, \dots, V_{m2}, \dots, V_{q2}\}$. Тоді $\forall i, \exists V_{m2}, V_{m2-1} < V_{jc} \ \& \ V_{m2} > V_{jc}$. При виборі керуючої ВС з необхідним обсягом оперативної пам'яті обирається найближче більше значення величини оперативної пам'яті, тобто $V_{jc} := V_{m2}$.

Тактова частота - не єдиний фактор, що визначає продуктивність пристрою (процесора). Оскільки більше впливає його архітектура. Для порівняння процесорів з близькою архітектурою може бути застосовано величину, що дорівнює середньому числу операцій, які виконуються за одиницю часу. На такому принципі оцінки заснована одиниця вимірювання MIPS (Mega Instructions Per Second), що визначає число. Для вимірювання швидкодії при виконанні обчислень з плаваючою точкою використовується одиниця FLOPS (FLOating point Operations Per Second) та її похідні – MFLOPS, GFLOPS, TFLOPS. Продуктивність МК в цих одиницях вказується в його технічних характеристиках виробником та виступає одним з важливих параметрів, що враховуються при виборі конфігурації керуючих ВС. В цілому, вибір типів та характеристик МК в керуючих ВС доцільно здійснювати з урахуванням наступних основних технічних параметрів:

1. Обсяг оперативної пам'яті (ОЗУ) для даних та програм. МК різних виробників та моделей обладнуються ОЗУ обсягом 64 кбайт – 2 Мбайт [2], [7].

2. Обсяг енергонезалежної пам'яті (ПЗУ, ППЗУ) для даних та програм. Так, МК Ахіо компанії Phoenix Contact має 48 кбайт енергонезалежної пам'яті для даних та 1 Мбайт пам'яті для програми, що відповідає 86000 командам [2].

3. Пропускна здатність (швидкість передавання даних) системної шини. Наприклад, системна шина Ахіо має швидкість 100 Мбіт/с [2].

4. Час опитування одного модуля вводу/вивода та повного набору модулів. Так, в МК Ахіо опитування одного модуля вводу/вивода проходить за 1 мкс [2]. Повний набір із 60 моду-

лів вводу/вивода буде проведений менш ніж за 80 мкс [2].

5. Час передавання даних між шиною даних и пам'яттю МК та приладом сполучення. Час передавання даних з шини в пам'ять МК або приладу сполучення – до 20 мкс [2]. Мінімальний цикл програми МК АХС 105 – 1 мс, а час виконання 1000 логічних операцій – 90 мкс [2]. Логічна команда виконується за 9,5 нс [2]. Операція складання двох чисел з плаваючою точкою виконується за 57 нс [6].

6. Швидкість виконання розрахунків для цілочисельних даних та даних з плаваючою точкою. Так, деякі МК обладнуються сопроцесором для обчислень з плаваючою комою для обробки аналогових сигналів та рішення задач регулювання, що істотно підвищує швидкодію. [2].

7. Продуктивність та тактова частота процесора, блоків та модулів. Зокрема, продуктивність МК компанії, TI складає до 800 MIPS при частоті 200 МГц, а на частоті 300 МГц максимальна продуктивність ядра складає 2400 MIPS/1800 MFLOPS при паралельному виконанні восьми команд (шість з яких з плаваючою точкою) за один тактовий цикл [4], МК компанії Spansion – до 250 MIPS при частотах до 200 МГц [7], МК компанії NXP – від 60 MIPS при 12 МГц до 150 МГц вище [3], 4752 MIPS на частоті 594 МГц та 8000 MIPS на частоті 1 ГГц [5], 3,6 GFLOPS або 14,4 GIPS при тактовій частоті 600 МГц та часу виконання команди 1,67 нс.

8. Розрядність аналого-цифрового перетворення. В задачах аналогового управління здійснюється обробка даних від аналогових датчиків, розрахунок та видача керуючих впливів на аналогові виконавчі механізми (ВМ). Вимоги до точності обчислень визначаються точністю датчиків та ВМ, котра зазвичай складає 8-12 розрядів. Управління здійснюється з частотою, що забезпечує необхідний час реакції системи на зовнішній вплив в одиницях мілісекунд.

9. Розрядність процесора. Найбільш популярні 4-х, 8-ми, 16-ти и 32-х розрядні МК. Від розрядності процесора залежать вартість та працездатність МК.

10. Підтримка зовнішніх інтерфейсів: аналогові інтерфейси, послідовний, CAN, USB, Ethernet, SPI, I²C та багато інших.

11. Різноманіття та якість засобів розробки та бібліотек різних виробників.

12. Споживна потужність в різних режимах. Так, технологія рiсoPower [8] робить можливою роботу будь-якого МК з рекордно-низьким рівнем енергоспоживання, в тому числі 650 нА з працюючими часами реального часу та менше 100 нА в режимі сну. Раніш збільшення швидкодії призводило до росту споживної потужності, але за останнє десятиліття цей параметр

зменшився з 2 до 0,1 мВт/MIPS. Споживна потужність на частоті 300 МГц складає 3,5 Вт [8].

13. Розмір корпусу впливає на можливість інтеграції МК в системи автоматики та їх компактність. Економічні МК в ультрамініатюрних корпусах більш зручні при проектуванні споживацької електроніки, світотехнічних приладів та приладів промислової автоматики. Так, компанія Atmel випустила мініатюрний 8-выводной корпус UDFN для МК з розмірами 2 x 2 x 0.6 мм при масі менше 8 мг. Стандартними є корпуса BGA (676 виводів), nFBGA (337 виводів), HLQFP (176 виводів) та ряд інших.

14. Напряга живлення. В теперішній час стандартні значення знаходяться в діапазоні значення 1,65 В до 5,5 В.

Різні моделі МК ряду виробників можуть також мати наступні особливості: двоядерна гарвардська архітектура, підтримка стандарту а IEEE 754 для виконання високочастотних операцій з плаваючою точкою, наявність окремого

модуля обчислень тригонометричних функцій; використання алгоритму Віттербі для обробки комплексних чисел; множення з накопиченням в форматі 16×16 біт та 32×32 біт з продуктивністю до 600 мільйонів операцій з накопиченням (MMAC, Million Multiply Accumulate Operations); наявність ПЗП завантаження; наявність двійкового 6-канального контролеру прямого доступу до пам'яті; наявність виводів загального призначення, що програмуються індивідуально, наявність 16-розрядних АЦП; наявність широтно-імпульсних модуляторів; наявність вбудованих методів криптозахисту; наявність контролеру переривань.

Деякі з вказаних характеристик можуть лише впливати на рішення про вибір конкретної моделі, але їх вибір не може бути формалізованим, оскільки має вплив на принципову можливість рішення задачі, не дивлячись на його високу вартість. Деякі чисельні характеристики МК наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Чисельні характеристики мікроконтролерів

Призначення	Характеристика				
	Розрядність, біт	Час реакції на подію на об'єкті управління, мс	Частота дискретизації при роботі АЦП та ЦАП	Швидкість, MIPS	Обсяг ОЗП, кбайт
Логічне управління	4-8	більш 10	10-100 Гц	До 1	більш 0.5
Цифрове управління	8-16	1-10	0.1- 10 кГц	1-100	32 і більше
Цифрова обробка даних	8-32	менш 1 (у ряді випадків – одиниці мкс)	0.01-10 МГц	100 і більше	64 і більше

Наведені в табл. 1 характеристики не є абсолютними та можуть мати істотні відхилення в зв'язку з постійним оновленням моделей МК різноманітних виробників, підвищенням їх швидкодії, ростом можливостей та розширенням спектру вирішуваних задач.

У теперішній час існує багато SCADA-систем, головним чином, американських та європейських виробників, деякі з них вказані нижче: Argos, CitectSCADA, ClearSCADA, Elipse E3, Elvis, FreeSCADA, GENESIS 32, iFix, IGSS, InduSoft Web Studio SCADA, IntegraXor, InTouch, Mango, MasterSCADA, OpenSCADA, PcVue, S3, Sielco Sistemi, SIMP Light, SITEX, SZARP, TRACE MODE, Vijeo Citect, WinCC, Winlog, Wizcon, ZenOn, ZetView, ГИНЭС, КАСКАД САУ, КОНТУР, КРУГ-2000, СТАТУС-4, ЭНТЕК та ін. Їх використання на усіх типах сучасних виробництв є обов'язковим, бо дозволяє одночасно візуалізувати безліч технічних параметрів промислової мережі та обладнання, автоматизувати все технологічні процеси та спростити роботу обслуговуючого персоналу. Поза залежністю від виробника та можливостей самої SCADA-системи формули (1)-(6) дозво-

ляють оцінити додаткове навантаження на відповідний сегмент мережі, де встановлено комп'ютер зі SCADA-системою.

Формули (1)-(6) дозволяють визначити основні характеристики (об'єми даних, що передаються, пропускні здатності сегментів мережі), що необхідні для оптимального вибору конфігурації керуючих ВС промислової мережі, її технології та калькістних характеристик.

Висновки

1. Виконано аналіз факторів, що впливають на ступінь завантаженості промислових мереж передачі даних та обсяги даних, що передаються по них. Проаналізовано характеристики мікроконтролерів, що є основою для керуючих обчислювальних систем на виробництві.

2. Отримано математичні залежності, що дозволяють розрахувати об'єми даних, що передаються по промисловій мережі та потрібну пропускну здатність її сегментів

3. Дано рекомендації щодо вибору пропускну здатності сегментів промислової комп'ютерної мережі, працездатності процесо-

рів та обсягу пам'яті мікроконтролерів при виборі конфігурації керуючих обчислювальних систем в промислових комп'ютерних мережах.

4. Запропоновано метод розрахунку обсягу даних, що передаються по промисловій комп'ютерній мережі в залежності від типу за-

дач, що вирішуються та кількості промислового обладнання, яке формалізує процедуру вибору мережевої технології, пропускних здібностей сегментів промислової комп'ютерної мережі.

Список використаної літератури

1. Field Device Tool interface [Електронний ресурс]. – <http://www.fdtgroup.org>
2. Д. С. Зозуля. Контроллеры Axioline от Phoenix Contact – совершенство дизайна и высокая производительность // ИСУП. – 2013. – Вып. 5. – С. 65 – 66.
3. Компания DigiKey [Электронный ресурс]. – <http://digikey.com>.
4. Журнал «Электронные компоненты». Микроконтроллеры для промислових приложених high-end от Texas Instruments [Электронный ресурс]. – <http://www.elcomdesign.ru>.
5. В. Майская. Сигнальные процессоры поражают новые цели / В. Майская // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2006. – Вып. 4. – С. 50 – 56.
6. В. Ведыгун. Универсальная платформа / В. Ведыгун // Мир автоматизации: компоненты, технологии, решения. – 2008. – Вып. 6. – С. 14 – 15.
7. Компания Spansion [Электронный ресурс]. – www.spansion.com/Products/micro-controllers/32-bit-ARM-Core/Pages/Default.aspx.
8. Компания Atmel [Электронный ресурс]. – <http://www.atmel.com/technologies/lowpower/default.aspx>.
9. Промислові комутатори Siemens [Электронный ресурс]. – www.siemens.com/switches.

Надійшла до редакції 10.03.2015

В.Ф.ШАПО¹, А.А. ВОРОПАЕВА²

¹Одесская национальная морская академия, г. Одесса

²Донецкий национальный технический университет, г. Красноармейск

МЕТОД ВЫБОРА ХАРАКТЕРИСТИК И РАСЧЕТА НАГРУЗКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Предложен метод расчета объема данных, передающихся по промышленной компьютерной сети в зависимости от решаемых задач и количества промышленного оборудования. Проанализированы характеристики микроконтроллеров, являющихся основой для управляющих вычислительных систем на производстве. Получены математические зависимости, позволяющие рассчитать объем данных, передаваемых по промышленной компьютерной сети и ее требуемую пропускную способность. Даны рекомендации по выбору пропускной способности промышленной компьютерной сети, производительности процессоров и объема памяти микроконтроллеров при выборе конфигурации управляющих вычислительных систем в промышленных компьютерных сетях.

Ключевые слова: промышленная компьютерная сеть, пропускная способность, объем данных.

S.F. SHAPO¹, A.O. VOROPAIEVA²

¹Odessa National Maritime Academy, Odessa

²Donetsk National Technical University, Krasnoarmiysk

METHOD OF INDUSTRIAL COMPUTER SYSTEMS UTILIZATION CALCULATING AND CONFIGURATION OF CONTROL COMPUTER SYSTEMS CHOOSING

In this paper a method of calculating the volume of data, which are transferred through industrial computer network depending on the tasks which have to be decided and the number of industrial equipment is proposed. Characteristics of microcontrollers which are the basis of industrial computer systems are analyzed. Mathematical dependences, which allow calculating data transferred through industrial computer network and its necessary bandwidth, are obtained. Paper includes recommendations on choosing bandwidth segments of industrial computer network, performance processors and memory size when choosing a microcontroller configuration control computer systems in industrial computer networks.

Keywords: industrial computer network, bandwidth, data volume.