

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ PROFIBUS ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ САУ БАГАТОСТУПІНЧАТИМИ ВОДОВІДЛИВНИМИ УСТАНОВКАМИ ШАХТ

Бессараб В.І., Федюн Р.В.

Донецький національний технічний університет,
факультет "Комп'ютерних інформаційних технологій і автоматики"
bvi@fcita.dn.ua

Abstract

Bessarab V., Fedyun R. Research of time parameters network Profibus at implementation SAC by multistage draining plants of mines. The problems applying "fieldbus" Profibus for constructing control systems of distributed plants are reviewed in a paper. The features applying of the given network for automation multistage draining plant are studied. The problems interplay devices of a control system for a drainage are reviewed at usage of the protocol Profibus. The artificial mains network Profibus is designed. Is executed simulations of processes information exchange in a control system for a multistage drainage at usage the network Profibus. On a foundation of results simulation is drawn a conclusion about possibility using of a network Profibus for constructing a control system for a multistage drainage.

Водовідлив глибоких шахт доцільно здійснювати послідовно включеними насосами різних горизонтів - технологічна схема ступінчатого водовідливу "насос в насос" [1]. При створенні систем автоматичного управління об'єктами даного класу необхідно враховувати такі їхні особливості, як багатомірність і багатозв'язність [1, 2], а також розподілення технологічного устаткування в просторі.

Багатоступінчаста водовідливна установка відноситься до розподілених об'єктів управління. Пристрій управління, вимірювальні засоби (технологічні датчики) і виконавчі механізми об'єкта управління розташовані на різних горизонтах водовідливу - розосереджені в просторі.

Для здійснення процесу автоматичного управління необхідно в керуючий пристрій (оптимальний регулятор) передавати інформацію про поточне значення регульованих (вихідних) координат - напорів на вході і виході ступіні. Пристрій управління реалізує керуючий алгоритм і видає керуючі впливи на виконавчі механізми - керовані засувки насосних агрегатів ступіней водовідливу. Розосередження в просторі пристрою управління, виконавчих механізмів і пристроїв виміру (технологічних датчиків) при класичних підходах призводить до необхідності використання великої кількості ліній зв'язку між управляючим пристроєм і периферійним устаткуванням. Так, для треступінчастої водовідливної установки при обраних параметрах контролю (напір на вході і виході трубопроводу ступіні) [3] і способі управління необхідно 9 пар проводів (три керованих засувки і шість датчиків напору) щоб реалізувати алгоритм оптимального управління даним об'єктом. Велика кількість з'єднувальних ліній призводить до значних капітальних і експлуатаційних витрат. Надійність такої схеми низька, а резервування ліній зв'язку досить витратне.

Альтернативою описаній структурі системи управління, в якій кожний елемент має свою лінію зв'язку і підключається безпосередньо до пристрою управління є система управління, побудована на основі мережних методів взаємодії технічних засобів системи. В даний час у світі розроблений окремий клас локальних мереж, призначених для автоматизації технологічних процесів. Цей клас мереж має загальну назву: fieldbus - "польова шина" [4,5]. Така структура має більшу надійність, меншу кількість з'єднувальних ліній, більшу гнучкість. Стикування елементів розподіленої системи управління здійснюється за допомогою стандартних мережних інтерфейсів на апаратному рівні та за допомогою стандартних протоколів –

на програмному. До найбільш відомих і застосовуваних у світі відкритих польових шин відносяться: CAN, LON, PROFIBUS, Interbus-S, FIP, ControlNet, Foundation Fieldbus, DeviceNET, ASI, HART, MicroLAN, і деякі інші [4,5].

Призначення, надані можливості та область застосування різних польових шин залежить від того, для якого рівня підприємства призначена дана шина. При автоматизації багатоступінчастої водовідливної установки виникає необхідність зв'язати периферійне устаткування (датчики і виконавчі механізми) з керуючим пристроєм на поверхні шахти. Для рішення цієї задачі застосовуються мережі самого нижнього рівня ієрархії - рівня периферійного устаткування: CAN, PROFIBUS-DP, PROFIBUS-PA, Interbus-S, DeviceNET, ASI, HART, MicroLAN.

На основі аналізу особливостей різних польових шин і висунутих до них вимог з боку об'єкта управління можна зробити висновок, що найбільш придатною при автоматизації багатоступінчастої водовідливної установки є польова шина Profibus. Немаловажною перевагою даної шини перед іншими є наявність технології Profibus-PA, призначеної для роботи у вибухонебезпечному середовищі. При використанні мережі Profibus для побудови системи управління водовідливом необхідно враховувати часові затримки в каналах виміру і управління.

Два питання виникають у зв'язку з наявністю часових затримок у реальних системах управління:

- чи буде досить часу, щоб виконати всі необхідні обчислення й обмін інформацією, що приписувані алгоритмом управління;
- як вплинуть часові затримки на характеристики замкнутої системи управління.

Необхідно визначити тривалість цих затримок, щоб досліджувати їх вплив на систему управління. Виникнення часових затримок при використанні шини Profibus зв'язане з тим, що в даний момент часу можливий обмін тільки між двома пристроями мережі. Керуючий пристрій послідовно опитує всі технологічні датчики, потім послідовно видає керуючі сигнали на виконавчі механізми. Інший трафік у мережі Profibus не допускається. Для визначення часових характеристик процесів обміну даними в мережі Profibus розроблено комунікаційну модель взаємодії технічних засобів мережі.

Мережа Profibus це комплексне поняття, воно ґрунтується на декількох стандартах і протоколах. Profibus-FMS - це загальне цільове рішення, використовується для широкого ряду додатків. Це універсальне рішення для задач взаємодії пристроїв на верхньому рівні управління. Profibus-DP - оптимізована для високошвидкісних і недорогих систем. Ця версія мережі була спроектована спеціально для зв'язку між автоматизованими системами управління і розподіленою периферією. Profibus-PA - спроектована спеціально для автоматизації процесів, являє собою розширення DP-протоколу в частині технології передачі, заснованої не на RS-485, а на реалізації стандарту IEC1158-2. Вона дозволяє підключати датчики і приводи на одну лінійну шину. Протокол Profibus-PA використовує стандарт IEC1158-2 для організації технології передачі у вибухонебезпечному середовищі. Для умов вугільних шахт даний стандарт є найбільш придатним, тому що питання безпеки обладнання в вугільних шахтах стоять на першому місці при побудові систем управління.

Мережа PROFIBUS містить ведучі (Master) і відомі (Slave) станції. Ведуча станція може керувати системою і передавати повідомлення, коли вона має право доступу (маркер) до шини. На відміну від неї, відома станція може лише підтверджувати отримане повідомлення або пересилати інформацію по запиту станції Master. Profibus використовує гібридний метод доступу до шини. З одного боку він заснований на передачі маркера, з іншого боку - на принципі Master-Slave комунікацій. Маркер передається від одної Master станції іншій Master станції по логічному колу й у такий спосіб визначається момент часу, коли Master станція може мати доступ до шини. Якщо логічне коло складається з одної Master станції і декількох Slave станцій, то така система називається чистою Master-Slave системою. Для по-

будови системи автоматизації багатоступінчастим водовідливом застосовується чиста Master - Slave система, у якій функції Master виконує ПЕОМ на поверхні шахти, а Slave - датчики і виконавчі механізми водовідливної установки. Узагальнена структура протоколу Profibus-PA приведена на рис.1.

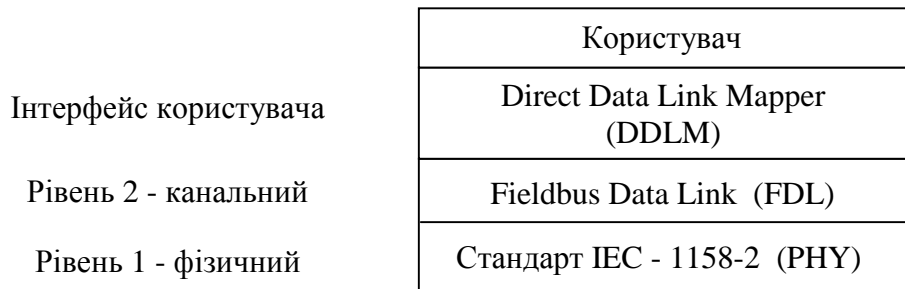


Рисунок 1. Модель рівнів протоколу Profibus-PA

Кожен мережний протокол звичайно порівнюють з багаторівневою ІСО-моделю. Протокол Profibus-PA використовує рівень 1 - фізичний, рівень 2 - каналний і інтерфейс користувача (Рис.1).

Стосовно до системи автоматичного управління багатоступінчастою водовідливною установкою визначення "користувач" залежить від типу пристрою - Master чи Slave. Для пристрою Master (пристрій управління - ПУ) користувачем виступає алгоритм оптимального управління багатоступінчастою водовідливною установкою, а точніше його програмна реалізація на ПЕОМ. Інтерфейсом "користувача" (посередником між користувачем і рівнем FDL) виступає розмітник запитів користувача (Direct Data Link Mapper (DDLМ)) (Рис.1). Slave-пристрої - це датчики напору (ДН) і керовані засувки (КЗ). Користувач КЗ - програмна реалізація алгоритму управління для електроприводу засувки. Користувач ДН - драйвер вторинного перетворювача датчика напору.

Канальний рівень Profibus (FDL) надає FDL-користувачу 2 типи сервісів: SDN і SRD. Посилка даних без підтвердження (Send Data with No Acknowledge – SDN) - цей сервіс дозволяє локальному користувачу передавати дані L_sdu (Link Service Data Unit - сервісний пакет даних) одній віддаленій станції, багатьом віддаленим станціям – Multicast, чи усім віддаленим станціям одночасно – Broadcast. Посилка і запит даних з відповіддю (Send and Request Data with Reply – SRD) - цей сервіс дозволяє локальному користувачу передавати дані L_sdu одній віддаленій станції й одночасно запитувати дані L_sdu, що були оголошені доступними віддаленим користувачем раніш. Сервіси реалізуються за допомогою використання деякої кількості сервісних примітивів. Діаграми сервісів SDN і SRD каналного рівня Profibus приведені на рис.2, рис. 3.

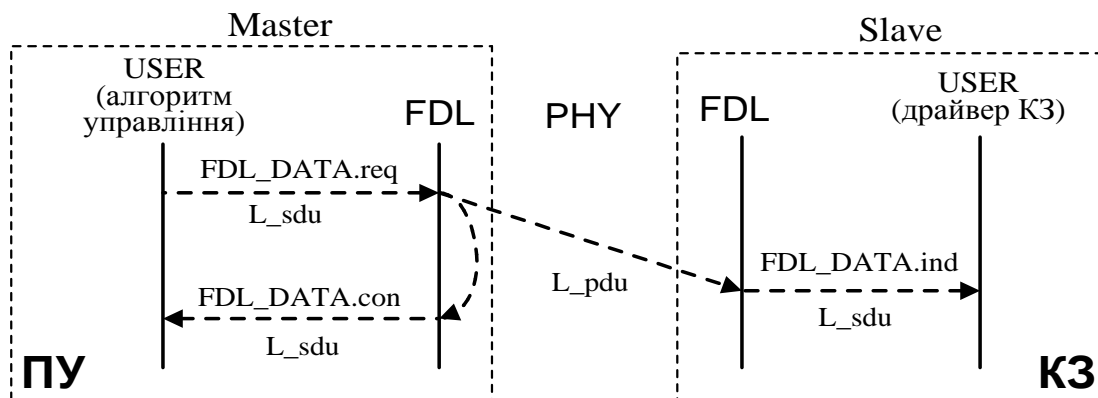


Рисунок 2. Діаграма SDN сервіса при взаємодії пристрою управління (ПУ) та керованої засувки (КЗ)

Користувач ПУ (алгоритм управління) підготовляє L_sdu для одного, для групи чи для усіх віддалених користувачів (рис.2). L_sdu передається в FDL-контролер ПУ за допомогою примітива FDL_DATA.req. FDL-контролер ПУ посилає дані FDL-контролеру КЗ, групі чи всім станціям.

FDL контролер ПУ повертає користувачу ПУ підтвердження про передачу за допомогою примітива FDL_DATA.con. FDL-контролер кожної КЗ, що одержав дані без помилок, передає їх своєму користувачу за допомогою примітива FDL_DATA.ind (рис.2). Одержавши такий примітив, драйвер ПЗ виробляє відповідне управління на засувку.

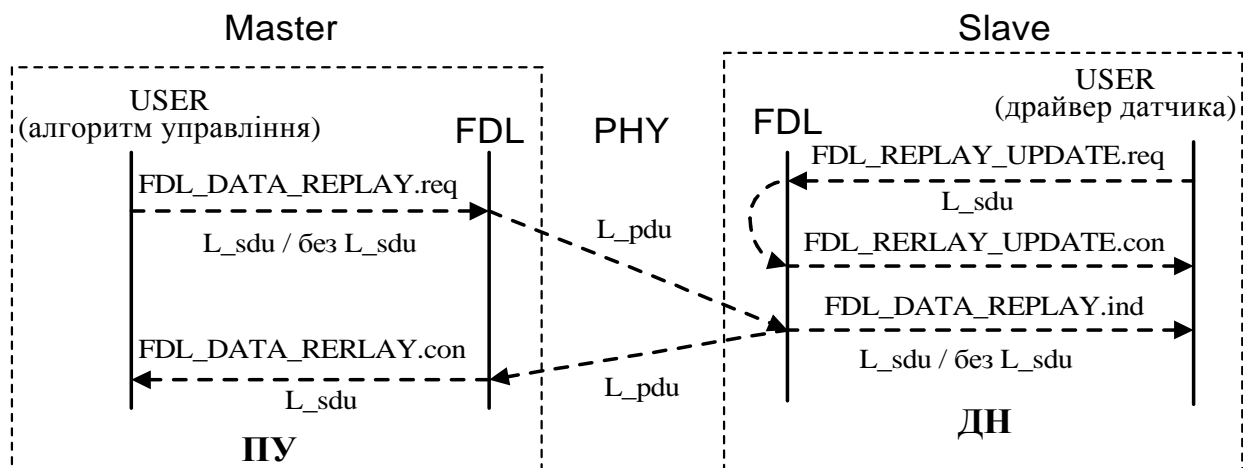


Рисунок 3. Діаграма SRD сервіса при передачі поточного значення напору в даній точці у пристрій керування ПУ

Користувач (User) ПУ підготовляє дані L_sdu для користувача (User) ДН (рис.3). Дані передаються FDL - контролеру ПУ за допомогою примітива FDL_DATA_REPLY.req, що одночасно запитує дані користувача ДН. FDL-контролер ПУ приймає цей комбінований сервіс і посилає L_sdu разом із запитом на одержання даних FDL-контролеру ДН. Якщо користувач ПУ не хоче посилати дані, а хоче тільки одержати дані від користувача ДН, то використовується цей же примітив. Після одержання без помилок даних і фрейму запиту FDL-контролер негайно починає передачу запитуваних даних, що попередньо були оголошені доступними користувачем ДН за допомогою примітива FDL_REPLY_UPDATE.req. Між запитом на передачу даних і відповіддю на запит у мережі Profibus інший трафік не допустимо. За допомогою примітива FDL_DATA_REPLY.con FDL-контролер УУ інформує користувача УУ про те, що дані були доставлені FDL-контролеру ДН, а також повертає запитані від ДН дані. Таким чином, сервіси і примітиви FDL рівня мережі Profibus дозволяють виконати необхідний обмін інформацією між управляючим пристроєм і периферійним устаткуванням у системі управління багатоступінчастим водовідливом.

Примітиви передаються FDL-контролером на фізичний рівень (PHY) протоколу Profibus у виді фреймів різного призначення. Фрейми, що використовуються в мережі Profibus, бувають 4-х типів. Кожен тип фрейму підрозділяється на 2 фрейми – запиту і відповіді. Огляд і структура фреймів мережі Profibus представлена на рис. 4 - 6.

На приведених рисунках 4 - 6 прийнято наступні позначення: SYN – період синхронізації; SD1, SD2, SD3, – стартовий роздільник; DA – адреса призначення; SA – адреса джерела; FC – контроль фрейму; LE – октет, що показує довжину пакету даних; Leg – повторний октет, що показує довжину пакету даних; FCS – перевірна послідовність фрейму; ED – кінцевий обмежник; SC – значення E5H.



Рисунок 4. Фрейми фіксованої довжини без поля даних

- а - формат фрейму запиту;
- б - формат фрейму відповіді;
- в - формат короткого фрейму відповіді.

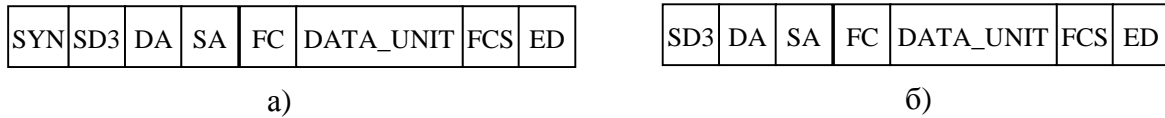


Рисунок 5. Фрейми фіксованої довжини з полем даних

- а - формат фрейму посилки/запиту;
- б - формат фрейму відповіді.

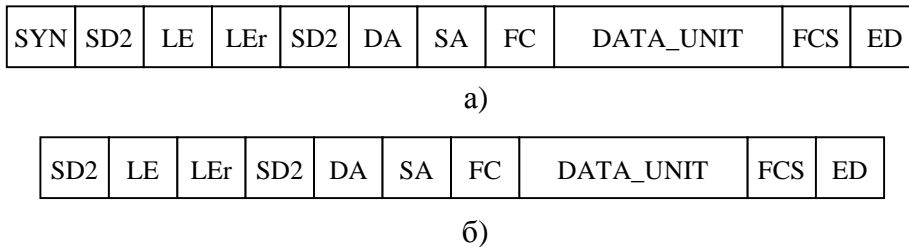


Рисунок 6. Фрейми змінної довжини з полем даних

- а - формат фрейму посилки/запиту;
- б - формат фрейму відповіді.

Пакет, що був посланий користувачем, попадає на розмітник запитів користувача (Direct Data Link Mapper – DDLM). DDLM по типу запиту, що прийшов до нього, відправляє запити на нижчий рівень. У параметрі запитів DDLM уже фігурують масиви даних перемінної довжини - L_sdu – Link Service Data Unit (сервісні пакети даних). L_sdu надходять на каналний рівень - FDL. Рівень FDL керує переходом в усі стани і займається створенням пакетів з масиву даних. Готові пакети надходять у виді фреймів на фізичний рівень - РНУ, що передає їх у кабель у виді байт. Повідомлення у виді послідовності байтів, що надходять з кабелю, збираються у фрейми на фізичному рівні РНУ. Пакети даних передаються на рівень FDL, що надає отримані дані користувачу. При надходженні неправильних пакетів - пакет ігнорується.

На основі розглянутих питань взаємодії пристроїв і обміну даними в мережі Profibus розроблена її модель з використанням спеціалізованого пакета EDT (Estelle Development Toolset) [6]. Моделювання процесів обміну інформацією в мережі Profibus виконано для триступінчастої водовідливної установки. При цьому в мережі є наступний набір пристроїв: Master - пристрій управління (ПУ), Slave - датчики напору і керуючі засувки. Таким чином, пристроїв Master - 1, пристроїв Slave - 9. Результати моделювання приведені на рис. 7.

Сутність часових затримок на кожному такті управління, обумовлених особливостями використання протоколу Profibus, пояснюється із діаграми рис.7. При цьому прийняті наступні позначення: T - період дискретності роботи системи; T_y - цикл управління багаступінчастим водовідливом; T_i - час збору інформації - опитування всіх датчиків напору ДН1 -

ДН6; T_{OB} - час обробки інформації датчиків і формування управління згідно алгоритму оптимального управління; T_{BK} - час видачі керуючих впливів на засувки УЗ1 - УЗ3; τ_{1y} - τ_{6y} - часова затримка виміру відповідної вихідної координати; τ_{1u} - τ_{3u} - часова затримка видачі керуючого впливу на відповідну керовану засувку.

Час збору інформації T_i кратний часу опитування одного датчика напору ДН, а час видачі керуючих впливів T_{BK} кратний часу взаємодії з однією керованою засувкою КЗ:

$$T_i = n_{ДН} \cdot \tau_{1y} \quad (1)$$

$$T_{BK} = n_{КЗ} \cdot \tau_{1u} \quad (2)$$

$$T_y = T_i + T_{OB} + T_{BK} \quad (3)$$

де $n_{ДН}$ - кількість датчиків напору у водовідливній установці;

$n_{КЗ}$ - кількість керованих засувок у водовідливній установці.

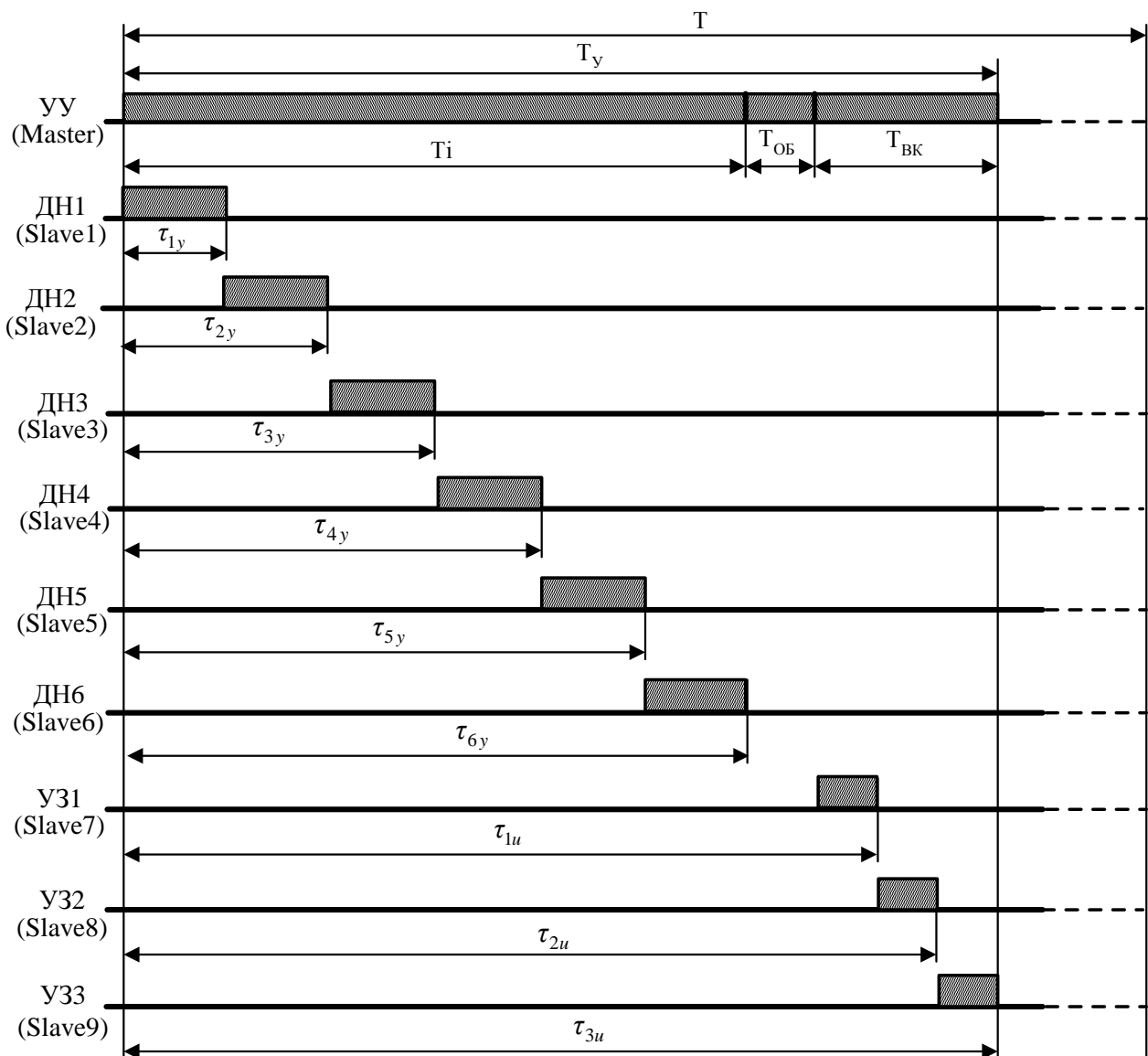


Рисунок 7. Часові діаграми роботи системи управління багатоступінчастим водовідливом

Розроблена модель протоколу Profibus дозволяє визначати часові характеристики процесів обміну даними при різних швидкостях передачі та кількості вузлів у мережі. Ці характеристики зв'язані з технологічними параметрами водовідливної установки - кількістю

ступіней і висотою водопідйому. Швидкість передачі даних є функцією відстані між самими віддаленими вузлами. Моделювання виконувалося для існуючих границь зміни технологічних параметрів багатоступінчастих водовідливних установок: кількість ступіней у водовідливні - 2 і 3, висота водопідйому 1000 - 1600 м.

У результаті моделювання процесів обміну даними з використанням технології Profibus-PA отримані наступні часові характеристики для триступінчастої водовідливної установки: цикл опитування датчика - 15,2 мс; цикл видачі керуючого впливу на одну засувку - 12 мс; час збору інформації - 91,2 мс; час видачі керуючих впливів - 36 мс; цикл керування - 127,2 мс.

Результати моделювання дозволяють визначати тривалості часових затримок у системі управління багатоступінчастою водовідливною установкою при різній структурі мережі Profibus і швидкості обміну даними. Результати моделювання використовуються при дослідженні впливу часових затримок у каналах управління і контролю на параметри замкнутої системи управління багатоступінчастим водовідливом.

Висновки.

1. Багатоступінчаста водовідливна установка є багатомірним, розподіленим об'єктом управління, що приводить до необхідності застосування мережних методів взаємодії технічних засобів системи управління.
2. Найкращим рішенням для автоматизації багатоступінчастого водовідливу є застосування "польової шини" Profibus-PA, яка розроблена для вибухонебезпечних умов експлуатації.
3. Застосування мережі Profibus приводить до виникнення часових затримок у системі управління по каналах контролю і управління, що впливають на характеристики замкнутої системи управління.
4. Розроблена комунікаційна модель протоколу Profibus-PA дозволяє визначити часові характеристики процесів обміну даними в даній мережі.
5. У результаті моделювання процесу обміну інформацією в мережі Profibus визначені значення часових затримок при можливих межах зміни параметрів мережі, обумовлених зміною технічних характеристик водовідливної установки.

Література

1. Бессараб В.И., Федюн Р.В. Принципы моделирования динамических процессов в многоступенчатых водоотливных установках. Наукові праці ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 12. Донецьк: ДонДТУ, ТОВ "Лебідь" – 1999, с.33-40.
2. Бессараб В.И., Федюн Р.В. Динамическая модель многоступенчатого водоотлива угольных шахт. Наукові праці ДонДТУ. Серія: гірничча електромеханіка, випуск 16. Донецьк, ДонДТУ – 2000, с.19–25.
3. Бессараб В.И., Федюн Р.В. Дослідження багатоступінчастої водовідливної установки методом простору станів. Наукові праці ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 20. Донецьк, ДонДТУ – 2000, с.16 – 22.
4. Звягинцев А.М., Красников А.Л., Курносков Н.М., Долинин И.В., Скрыпников С.Н. Полевые шины "FIELD BUS" – новая перспектива в автоматизации управления технологическими процессами // Датчики и системы. - 1999. - №7-8. - С. 61 - 73.
5. Харольд Д. О прошлом и будущем систем управления // Мир компьютерной автоматизации. - 2000. - № 2 - С.11-15.
6. Eugen Borcoci. "Performance evaluation for Estelle specifications. Case study: connection oriented protocol", Institut National des Télécommunications, July 1999 - 27 p.