

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ШИНЫ PROFIBUS НА КАЧЕСТВО ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

**Червинский В.В., Бессараб В.И., Жукова Н.В.**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк  
кафедра автоматики и телекоммуникаций  
E-mail: tscherwi@mail.ru

### **Abstract**

*Chervinsky V.V., Bessarab V.I., Zhukova N.V. Examination of influence of time parameters of the Profibus on quality of a control processes in distributed systems of automation. In article the description of complex switching model of interaction of builders of distributed system of automation on an example of installation on processing coal in pyrolysis gas designed. The model operation of processes of information exchange between builders of system of automation by means of the fieldbus is conducted, in result the timing diagrams per control cycle are obtained. The delays imported on an input and an output of a control system are spotted. The guidelines of the choice of velocity of the fieldbus providing execution of all indispensable evaluations and information exchange, with given permissible influence to quality of a control system are designed.*

### **Общая постановка проблемы.**

При традиционном синтезе системы автоматического управления по классическим методам обычно исходят из предположения, что ее техническая реализация осуществляется с помощью комплекса средств, не накладывающих ограничений на алгоритм управления. Однако, в распределенных системах автоматизации сложными объектами, включающих большое количество средств измерения, исполнительных механизмов и иерархическую структуру контроллеров, объединенных при помощи промышленной полевой шины, влияние задержек, вносимых последней, на качество системы управления может оказаться существенным. В связи с этим возникает необходимость оценки влияния временных характеристик промышленной шины на алгоритм управления подобными объектами.

### **Постановка задач исследования.**

В качестве типового примера рассматривается распределенная система автоматизации на базе промышленной шины Profibus, реализующая двухуровневую систему оптимального управления технологическим процессом переработки углей в пиролизный газ на установках с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) [4]. Данная работа является частью исследований, проводимых в Донецком национальном техническом университете, направленных на создание эффективных методов и средств автоматического управления установкой по переработке углей в пиролизный газ (УПУПГ) [3].

Исследование временных характеристик шины Profibus позволит определить длительность задержек, вносимых реальной системой в каналы управления и измерений с целью оценки их влияния на весь алгоритм управления УПУПГ. При этом необходимо выяснить:

1. Является ли достаточной длительность шага дискретизации цифровой системы управления для выполнения обмена информацией и необходимых вычислений.
2. Как влияют временные задержки, вносимые полевой шиной, на характеристики замкнутой системы управления.

### **Решение задач и результаты исследований.**

УПУПГ является сложным объектом, состоящим из трех взаимосвязанных технологических модулей. Система автоматизации является распределенной трехуровневой

с разделением задач управления между контроллерами различных уровней, объединяемых с помощью промышленной сетевой технологии Profibus.

Для подключения датчиков и исполнительных устройств на нижнем уровне используется AS-интерфейс.

Второй уровень включает локальные системы управления (ЛСУ) технологическими модулями и главный контроллер, выполненные на автономно работающих программируемых логических контроллерах (ПЛК), подключенных к шине Profibus. ПЛК ЛСУ управляют исполнительными устройствами соответствующих технологических модулей. Главный контроллер системы обрабатывает информацию, поступающую от ЛСУ и от датчиков и выдает команды на ЛСУ.

Третий уровень — человеко-машинный интерфейс. Включает компьютер оператора с системой обработки данных, контроля и визуализации и программаторы, обеспечивающие интерфейс для настройки контроллеров.

Для решения поставленных задач предложено построить комплексную коммуникационную модель взаимодействия элементов системы автоматизации посредством шины Profibus.

Для построения моделей основных элементов распределенной системы управления на базе технологии Profibus был применен пакет EDT — “Estelle Development Toolset” с дополнительным использованием пакета GREditor.

EDT представляет собой расширенный дополнительными возможностями Pascal. Используются внешние и внутренние процедуры. Данные процедуры позволяют создать спецификации ведущих и ведомых устройств, подключенных к полевой шине.

С помощью пакета EDT разработаны модели устройств DP-Master и DP-Slave в виде иерархической структуры модулей. При том использовано описание пользовательского и канального уровней протокола Profibus DP.

В основе архитектуры этого протокола лежит эталонная модель взаимодействия открытых систем OSI [1].

В Profibus-DP уровни с 3 по 7 не используются. Прикладной уровень 7 в целях достижения нужной производительности опускается. Отображение функций уровня 2 на пользовательский интерфейс предоставляет прямой преобразователь канальных данных DDLM (Direct Data Link Mapper). В пользовательском интерфейсе есть доступные пользователю прикладные функции. Кроме того, пользовательский интерфейс задает режимы работы различных типов Profibus-DP-устройств и их взаимодействие с системой.

Второй (канальный) уровень эталонной модели OSI обеспечивает функции управления доступом к передающей среде и поддержания целостности информации, а также выполнение протоколов передачи сообщений. В протоколе Profibus Уровень 2 обозначается как канал данных Fieldbus — FDL (Fieldbus Data Link). Функция управления доступом к передающей среде — MAC (Medium Access Control) определяет, когда станция может передавать данные. Функция MAC гарантирует, что в любой момент времени право передачи информации принадлежит только одной станции.

Для взаимодействия между сложными станциями (ведущими) протокол доступа к передающей среде Profibus включает метод передачи маркера, а для взаимодействия между сложными станциями и простыми периферийными устройствами (ведомыми) — метод ведущий-ведомый. Этот комбинированный метод называется гибридным доступом к передающей среде.

Метод передачи маркера обеспечивает присвоение права доступа к шине в пределах точно определенного временного интервала посредством маркера. Маркер — это специальное сообщение, которое передает права на осуществление передачи информации от одного ведущего устройства к другому. Он циркулирует между всеми ведущими устройствами в пределах (регулируемого) максимального времени оборота маркера. Метод

передачи маркера используется в Profibus только для сложных станций (ведущих устройств). Метод ведущий-ведомый позволяет ведущему устройству (активной станции), которому в настоящий момент принадлежит право передачи информации, взаимодействовать с ведомыми устройствами (пассивными станциями). Каждое ведущее устройство имеет возможность получать данные от ведомых устройств и передавать данные ведомым устройствам.

В качестве ведущих устройств в системе автоматизации УПУПГ присутствуют: ПЛК второго уровня (координатор), ПЛК ЛСУ 1, ПЛК ЛСУ 2, ПЛК ЛСУ 3. Ведомые устройства — датчики (температуры, массового расхода, давления и анализаторы состава уходящих газов) и исполнительные устройства (заслонки и привода подачи сырья и топлива) технологических модулей. Максимальная длина линий связи — 100 м.

Модель обмена запросами и подтверждениями, передачи данных между ведущими и ведомыми устройствами в распределенной системе управления УПУПГ базируется на алгоритме обмена информацией, который заключается в следующем:

Маркер последовательно переходит по цепочке ведущих устройств: ПЛК системы управления второго уровня → ПЛК ЛСУ 1 → ПЛК ЛСУ 2 → ПЛК ЛСУ 3. Опрос датчиков происходит по запросу ПЛК системы управления второго уровня с групповым ответом. Данные по этому запросу получают все ПЛК и ПК оператора для целей визуализации и контроля. ПЛК САУ второго уровня на основе информации от датчиков производит вычисления в соответствии с заложенным алгоритмом и выдает сообщения типа ведущий-ведущий для всех ПЛК нижнего уровня. ПЛК ЛСУ производят вычисления в соответствии с заложенными алгоритмами и выдают управляющие команды исполнительным устройствам соответствующих ТМ при захвате маркера.

Таким образом, модель взаимодействия компонентов системы автоматизации УПУПГ выглядит следующим образом (рис. 1):

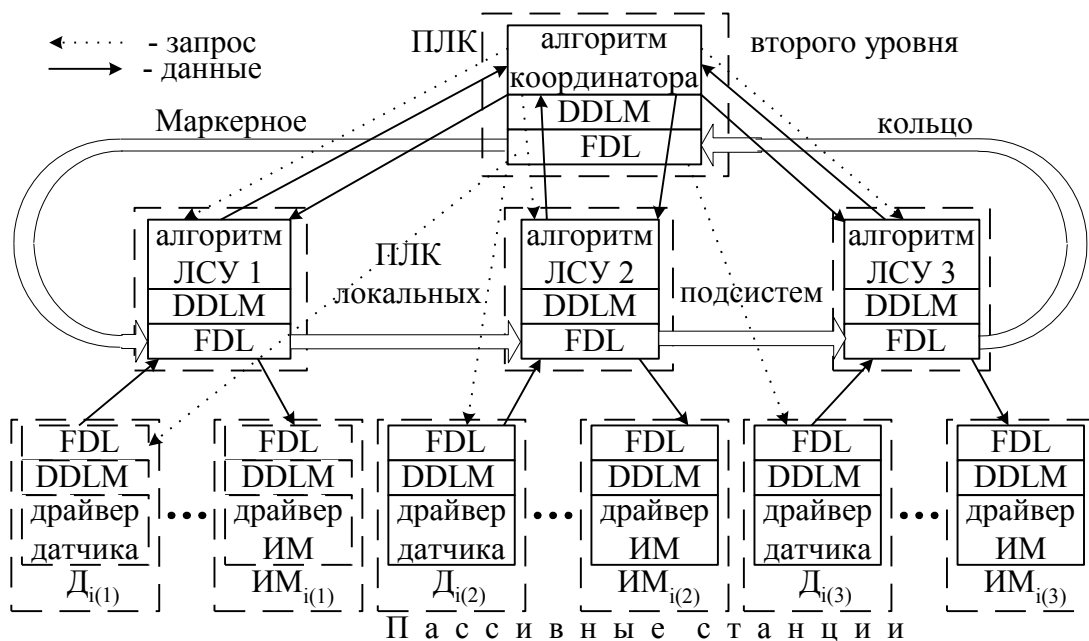


Рисунок 1 — Структура модели взаимодействия компонентов системы автоматизации УПУПГ посредством шины Profibus

Моделирование временных процессов передачи данных по шине Profibus между всеми станциями распределенной системы управления УПУПГ выполнено для стационарного рабочего режима функционирования установки. Результатом моделирования

выступают временные диаграммы (рис. 2) функционирования системы управления на канальном уровне протокола Profibus.

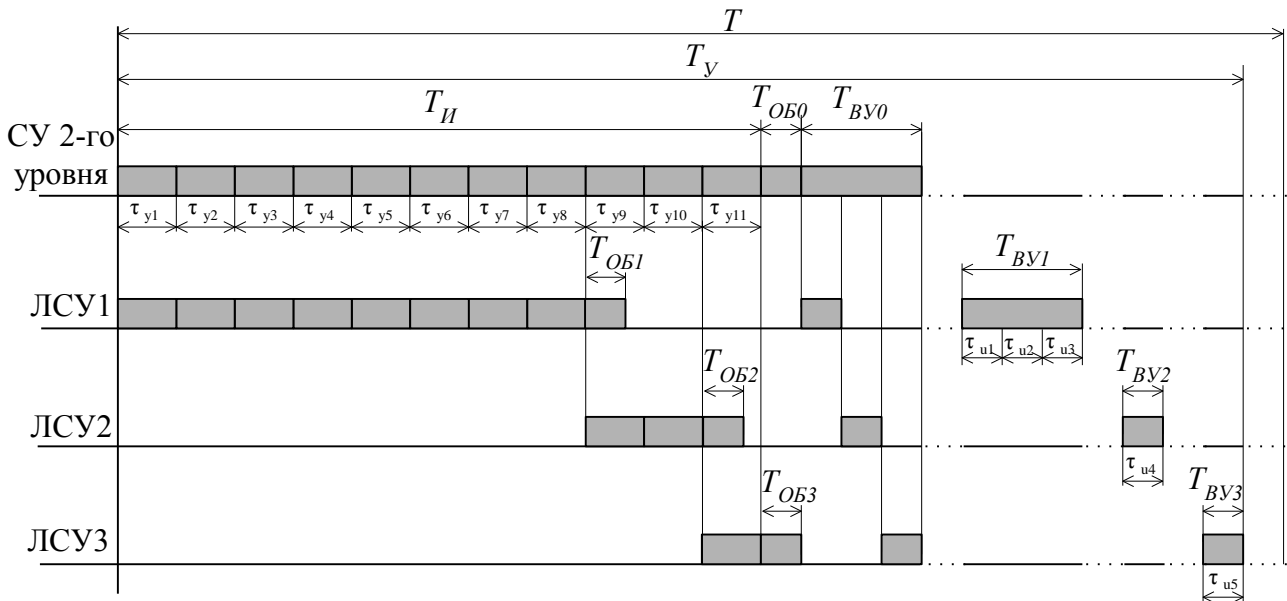


Рисунок 2 — Временная диаграмма работы распределенной системы управления УПУПГ

Сущность временных задержек, обусловленных алгоритмом функционирования канального уровня протокола Profibus, поясняется из временной диаграммы. При этом приняты следующие обозначения:  $T$  — период дискретизации цифровой системы управления;  $T_y$  — время обхода маркерным кольцом всех ведущих устройств, обуславливает цикл управления распределенной системы управления;  $T_И$  — время сбора информации — опроса всех датчиков;  $T_{ОБi}$  ( $i = 1, 2, 3$  — порядковые номера ПЛК  $i$ -ой ЛСУ,  $i=0$  — ПЛК СУ второго уровня) — время обработки информации, поступающей от датчиков, проведения вычислений согласно заложенному алгоритму и формирования управляющих воздействий;  $T_{ВУi}$  — время выдачи управляющих воздействий от  $i$ -ой подсистемы управления;  $\tau_{y1} \div \tau_{y11}$  — временные задержки измерения соответствующего датчика;  $\tau_{u1} \div \tau_{u5}$  — временные задержки при выдаче управляющего воздействия на соответствующий исполнительный механизм.

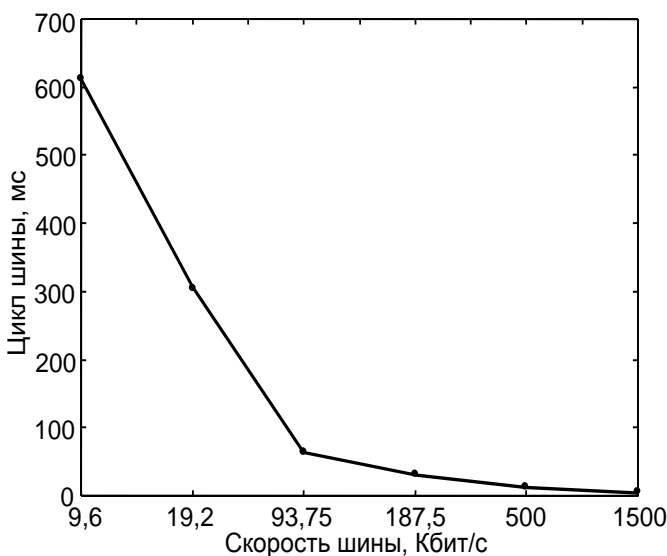


Рисунок 3 — Зависимость длительности цикла шины от скорости передачи для распределенной системы управления УПУПГ

По результатам моделирования получена зависимость длительности цикла шины от скорости для стандартного ряда скоростей передачи промышленной шины Profibus (рис. 3).

По данной зависимости (рис. 3) для периода дискретизации цифровой системы управления  $T=100$  мс рекомендованной скоростью шины является скорость передачи 93,75 Кбит/с.

Для рекомендованной скорости шины определены следующие временные показатели:  $T_И=15,3$  мс;  $T_{ВУ}=18,8$  мс;  $T_y=36,5$  мс. Анализ результатов моделирования показывает, что временные задержки, вносимые в систему управления,

позволяют выполнить все необходимые вычисления и обмен информацией, предписываемые алгоритмом управления: время цикла управления меньше времени дискретизации системы управления  $T_V < T$ . Однако, поскольку выдача управляющих воздействий происходит с некоторой задержкой, возникает необходимость оценки влияния этой задержки на качество функционирования распределенной системы управления.

В дискретной системе управления модель с задержкой по входу описывается следующими уравнениями в пространстве состояний [2]:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k-d), \\ y(k) &= Cx(k), \end{aligned} \tag{1}$$

где  $d = T_f / T = 1, 2, \dots$  — вносимая относительная задержка;

$T_f$  — вносимая временная задержка.

Модель с задержкой на выходе:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k), \\ y(k+d) &= Cx(k), \end{aligned} \tag{2}$$

Включая элементарные задержки в вектор состояния, модель представляется в виде:

$$\begin{aligned} x_d(k+1) &= A_d x_d(k) + B_d u(k), \\ y(k) &= C_d x_d(k), \end{aligned} \tag{3}$$

где  $A_d, B_d, C_d$  — расширенные матрицы системы, учитывающие задержки.

В распределенной системе управления УПУПГ, построенной на основе промышленной шины, присутствуют задержки, определяемые алгоритмом взаимодействия элементов системы управления и временем передачи данных между ними. В системе присутствуют задержки по входу и по выходу. Задержки по выходу в полевой шине определяются временем считывания данных с датчиков и передачи их по шине (задержки по каналам измерения); задержки по входу — связаны с временем обработки информации и производимых вычислений ПЛК, а также временем выдачи управляющих воздействий на исполнительные устройства (задержки по каналам управления). Как видно из диаграммы (рис. 2), длительность задержек по каналам измерения меньше длительности задержек по каналам управления. Таким образом, основные задержки, вносимые шиной — это задержки на входе системы, равные длительности цикла управления:  $T_f = T_V$ .

Длительность цикла управления зависит от выбранной скорости шины. Для стандартного ряда скоростей шины проведена оценка влияния длительности цикла управления  $T_V$  на динамические процессы в системе по следующей схеме:

- согласно графику рис. 3 для каждого значения скорости передачи определена задержка, вносимая шиной;

- пересчитана модель дискретной системы управления согласно (3) для периода дискретизации  $T_d = T_V$ ;

- проведено моделирование полученной системы управления по методике, изложенной в [3], получены кривые переходных процессов;

- рассчитаны среднеквадратические ошибки отклонения динамических процессов системы с учетом задержек, вносимых полевой шиной от динамических процессов, полученных без учета характеристик шины по формуле:

$$Sy = \sqrt{\frac{1}{M+1} \sum_{k=0}^M [y(k) - y_d(k)]^2}, \tag{4}$$

где  $y$  — выход объекта для системы управления без учета характеристик шины;  
 $y_d$  — выход объекта для системы управления с учетом задержек, вносимых шиной;  
 $M$  — номер шага дискретизации, при котором  $y(k) \approx y_d(k)$ .

– по результатам моделирования построен график (рис. 4), отражающий зависимость среднеквадратической ошибки отклонения динамических процессов в системе, учитывающей задержки и "идеальной" системы.

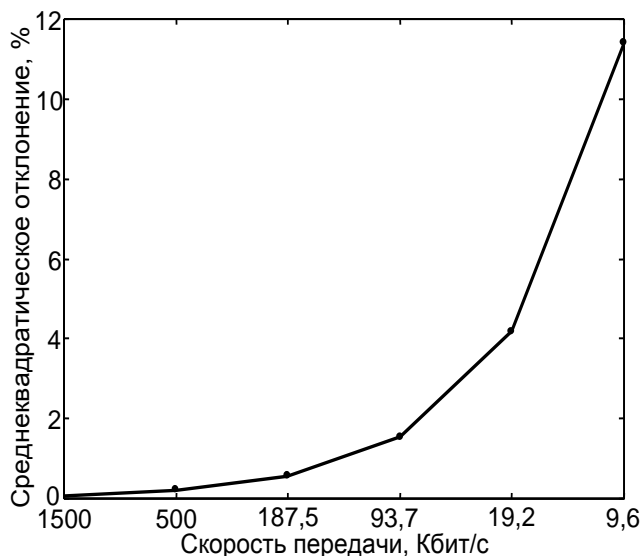


Рисунок 4 — Влияние скорости шины на качество системы управления УПУПГ

По полученной в результате моделирования зависимости (рис. 4) можно установить требования к скоростным параметрам полевой шины, предъявляемые системой управления установкой с ЦКС по переработке углей в пиролизный газ. Для рекомендуемой скорости 93,75 Кбит/с среднеквадратическое отклонение модельных динамических процессов в системе с учетом влияния временных характеристик шины отличается от полученных для системы, не учитывающей задержки, вносимые полевой шиной, на величину, не превышающую 2%.

### Выводы.

1. Разработана комплексная коммутационная модель взаимодействия компонентов распределенной системы автоматизации посредством полевой шины на примере системы управления установкой с ЦКС по переработке углей в пиролизный газ.

2. Проведено моделирование процессов обмена информацией между компонентами распределенной системы автоматизации УПУПГ, в результате получены временные диаграммы за цикл управления и определены задержки, вносимые по входу и выходу системы управления.

3. Разработаны рекомендации по выбору скорости шины Profibus, обеспечивающей выполнение всех необходимых вычислений и обмена информацией, с заданным допустимым ухудшением качества системы управления УПУПГ по сравнению с расчетными характеристиками.

### Литература

1. Громов В.С., Вишнепольский Р.Л., Тимофеев В.Н. Промышленная шина PROFIBUS, способы реализации в АСУ ТП // Средства и системы компьютерной автоматизации. — Доступен с <<http://www.asutp.ru/?p=600465>>.
2. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 512 с.
3. Червинський В.В., Бессараб В.І. Ієрархічна система оптимального управління установкою з газифікації вугілля методом напівкоксовання з циркулюючим киплячим шаром // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. — Херсон: Изд. ХНТУ. — 2004. №2 (14). — С. 187–192.
4. Червинский В.В., Хорхордин А.В., Жукова Н.В. Распределенная система автоматического управления установкой по газификации угля с циркулирующим кипящим слоем // Матеріали 12-й міжнародної конференції з автоматичного управління. — Харків: Вид-во НТУ "ХПІ". — 2005. — С. 71–72.