

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ОТКРЫТОЙ СЕТЕВОЙ АРХИТЕКТУРЫ NET LINX В СИСТЕМЕ CONTROL LOGIX

FEATURES OF IMPLEMENTATION OF THE NET LINX OPEN NETWORK ARCHITECTURE IN THE CONTROL LOGIX SYSTEM

**Yu. Bebikhov
G. Matul
A. Semenov**

Summary. The article discusses the implementation features of the open network architecture NET Linx in the Control Logix system. The analysis of the operation of the main types of networks included in this architecture of communication protocols in the framework of a standard three-level model of an automated process control system of an industrial enterprise is carried out. As a model for research and analysis, the Control Logix 1756 platform based on the 1756-A4 chassis with 1756-ENBT, 1756-CNB, 1756-DNB Series C switching modules and 1756-L55 processor was adopted. This configuration allows data transfer via Ethernet IP, Control Net, and Device Net protocols, which are related to the levels of operational control, automatic control, and input/output, respectively. The main scientific interest is the end-to-end transmission of information from the automatic control level to the input/output level, as well as the features of data conversion during transmission from one level to another, the effect of these transformations on the amount of delay in data transmission and throughput. The last parameters will be given special attention, since the system reaction rate and the stability of the delay value are key parameters for the operation of the automated process control system as a whole.

Keywords: network, architecture, automation, technological process, mining, NET Linx, Control Logix.

Бebихов Юрий Владимирович

*К.ф.-м.н., доцент, Политехнический институт
(филиал) СВФУ им. М. К. Аммосова в г. Мирном
bebikhov.yura@mail.ru*

Матул Глеб Андреевич

*Политехнический институт (филиал) СВФУ
им. М. К. Аммосова в г. Мирном
mailbox428@gmail.com*

Семёнов Александр Сергеевич

*К.ф.-м.н., доцент, Политехнический институт
(филиал) СВФУ им. М. К. Аммосова в г. Мирном
sash-alex@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены особенности реализации открытой сетевой архитектуры NET Linx в системе Control Logix. Проведен анализ работы основных типов сетей входящих в данную архитектуру протоколов связи в рамках стандартной трехуровневой модели автоматизированной системы управления технологическими процессами промышленного предприятия. В качестве модели для исследования и анализа принята платформа Control Logix 1756 на базе шасси 1756-A4 с коммутационными модулями 1756-ENBT, 1756-CNB, 1756-DNB Series C и процессором 1756-L55. Данная конфигурация позволяет осуществлять передачу данных по протоколам Ethernet IP, Control Net и Device Net, относящихся к уровням оперативного управления, автоматического управления и ввода/вывода соответственно. Основной научный интерес представляет сквозная передача информации с уровня автоматического управления на уровень ввода/вывода, а также особенности преобразования данных при передаче с одного уровня на другой, влияние этих преобразований на величину задержек при передаче данных и пропускную способность. Последним параметрам будет уделено особое внимание, поскольку скорость реакции системы и стабильность величины задержек являются ключевыми параметрами для работы автоматизированной системы управления технологическими процессами в целом.

Ключевые слова: сеть, архитектура, автоматизация, технологический процесс, горное производство, NET Linx, Control Logix.

Введение

На сегодняшний день во многих отраслях промышленности степень автоматизации технологических процессов близка к максимально возможной, т.е. полной. В таких случаях все производственные процессы выполняются без участия человека, при этом операторы только осуществляют контроль над параметрами систем автоматического управления и безопасностью технологических операций [1]. Для алмазодобывающей промышленности, к сожалению, на данный момент автоматизация характерна только для некоторых технологических операций, таких как, например, выполнение буровых работ для шпуров взрывной отбойки, типовых

операций, выполняемых комбайнами, некоторых транспортных операций, контроля добываемых полезных ископаемых и пр. [2] При этом существуют потенциальные возможности использования современных технических решений, в том числе из других областей промышленности, которые могли бы позволить в более значительной степени обеспечить автоматизацию отдельных технологических процессов или даже реализовать в некоторой мере систему централизованного управления комплексом открытых горных работ [3].

Внедрение современных систем автоматизации и информационных систем поддержки принятия решений любого горного производства, по мнению авторов, целе-

сообразно с точки зрения [3]: повышения безопасности горных работ; повышения прозрачности и обеспечения возможности непрерывного мониторинга производственных издержек; контроля производительности; повышения дисциплины персонала; более оперативного формирования управляющих воздействий; снижения влияния человеческого фактора на технологические процессы.

Согласно программе инновационного развития и технологической модернизации АК «АЛРОСА» (ПАО) на период 2016–2023 гг. [4] основными задачами компании в области научных исследований на этот период будут являться: разработка и внедрение более совершенных и эффективных технологий геологоразведочных работ; разработка и внедрение безлюдных технологий отработки карьеров; разработка и внедрение новых принципов отработки сверхглубоких карьеров, совершенствование конструкции бортов и уступов карьеров с целью максимального уменьшения объема вскрышных работ; разработка и внедрение комплексных систем мониторинга безопасности подземных горных работ, отслеживающих геомеханику, гео- и гидродинамику, горных массивов; оптимизация закладочных смесей на основе местных вяжущих материалов, понижающих расход цемента; разработка новых типов сепараторов, обеспечивающих более высокое извлечение алмазов из руды и способных сократить затраты на операции последующих переделов; разработка технологий сухого (безводного) обогащения; разработка энергоэффективных технологий дезинтеграции алмазоносной руды для снижения числа переделов в процессах рудоподготовки и обогащения; разработка кристаллосберегающих технологий, позволяющих в процессе добычи и обогащения руды уменьшить техногенную повреждаемость и повысить качество алмазной продукции; совершенствование конструкции горной техники в целях повышения ее проходимости в условиях крутонаклонных съездов; разработка автоматизированной технологии сортировки алмазного сырья.

Как минимум пять из вышеперечисленных задач напрямую связаны с автоматизацией технологического процесса на тех или иных предприятиях, что подтверждает актуальность проведенных исследований.

Цель, задачи и объекты исследования. Целью настоящего исследования станет анализ особенностей реализации открытой сетевой архитектуры NET Linx в системе Control Logix. Для этого будут решены следующие задачи: проанализирована работа основных типов сетей входящих в данную архитектуру протоколов связи в рамках стандартной трехуровневой модели; рассмотрена сквозная передача информации с уровня автоматического управления на уровень ввода/вывода; изуче-

ны особенности преобразования данных при передаче с одного уровня на другой; оценено влияние этих преобразований на величину задержек при передаче данных и пропускную способность. Объектами исследования будут являться: платформа Control Logix 1756 на базе шасси 1756-A4 с коммутационными модулями 1756-ENBT, 1756-CNB, 1756-DNB Series C и процессором 1756-L55; протоколы передачи данных Ethernet IP, Control Net и Device Net.

Результаты исследования

Основное требование для подсистемы связи в современных автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП) любого промышленного предприятия связано с обеспечением эффективной интеграции от уровня производственных цехов до уровня руководства [5]. В рамках платформы Control Logix эта задача решается применением технологии Net Linx. Net Linx представляет собой решение, использующее открытую сетевую архитектуру для обеспечения эффективной интеграции [6, 7]. Net Linx включает в себя три типа сетей: Device Net, Control Net и Ethernet IP они поддерживают один и тот же протокол, такое решение позволяет использовать общий набор коммуникационных сервисов. Этот протокол называется «общий промышленный протокол» — Common Industrial Protocol (CIP). Он позволяет осуществлять управление, конфигурирование и сбор данных в любой из сетей Net Linx. Архитектура Net Linx эффективно интегрирует все компоненты системы автоматизации, от простейших устройств до глобальной сети интернет. Такое решение помогает повысить гибкость, снижает затраты на инсталляцию оборудования и повышает производительность [8, 9].

Использование единого протокола CIP позволяет использование сетей Device Net, Control Net и Ethernet IP в рамках одной системы АСУТП (рис. 1), при этом каждая из сетей остается оптимизированной по пропускной способности, топологии и набору функций под специальные применения, позволяющие поддерживать различные типы приложений [10, 11].

Сеть Device Net. Эта сеть основана на технологии локальной сети контроллеров Controller Area Network (CAN). Главными ее преимуществами являются низкая стоимость и небольшие сроки установки, возможность расширенного доступа к данным, в том числе данным диагностики оборудования, позволяющим сократить или устранить значительные издержки, связанные с простоями. Device Net является экономичным решением для создания сетей промышленных устройств нижнего уровня и обеспечивает эффективный способ доступа к данным в этих устройствах. Сеть Device Net позволяет

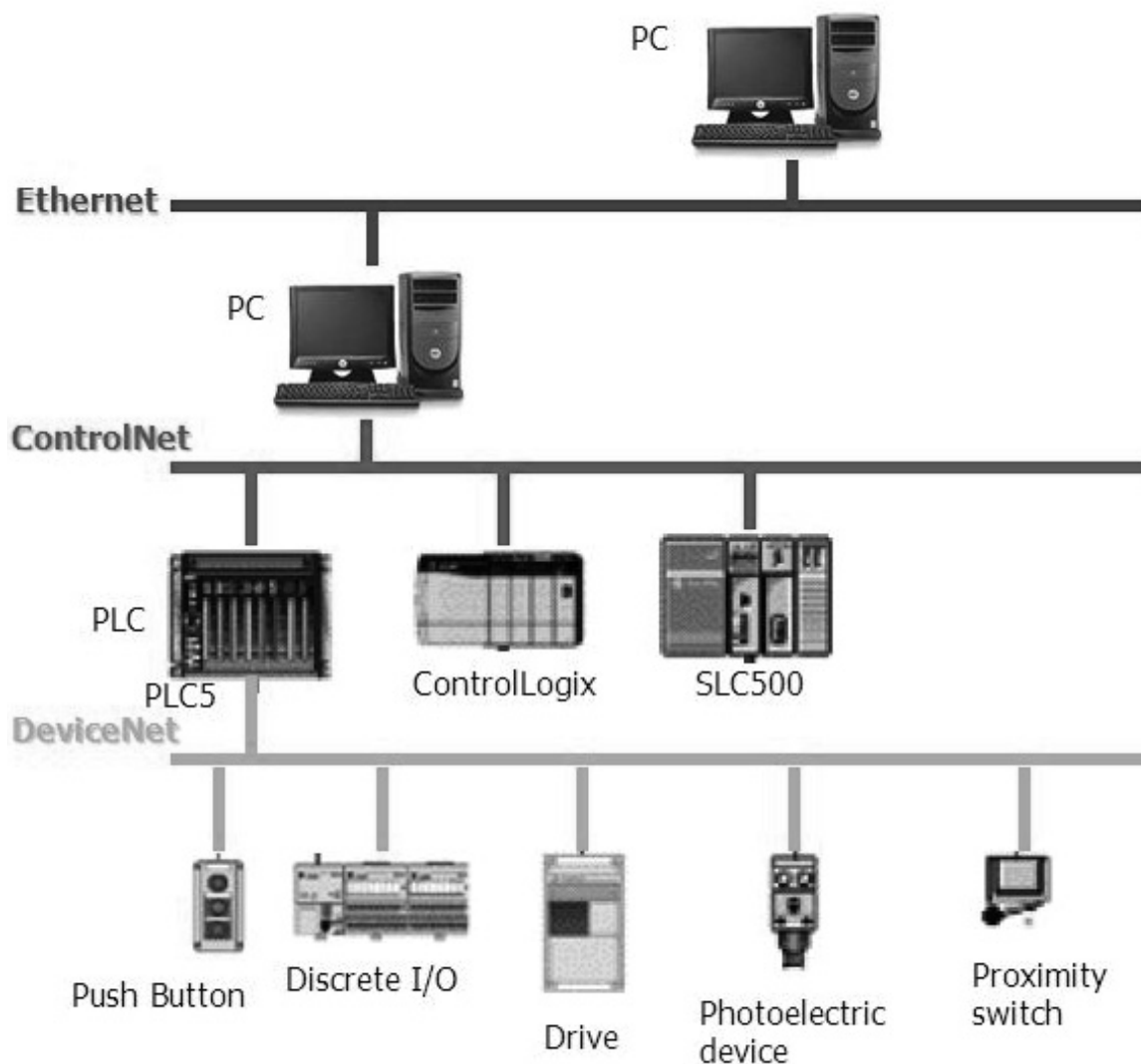


Рис. 1. Пример организации АСУТП с использованием различных сетей

соединять устройства непосредственно с контроллерами на производственных участках, не прибегая к жесткой схеме подключения каждого устройства к модулю ввода/вывода. Такая возможность прямого соединения уменьшает стоимость установки и упрощает электро-монтаж.

Наиболее часто сеть Device Net применяется в следующих конфигурациях: в системах с распределенными узлами; в сети приводов; для подключения большого количества устройств непосредственно к сети Device Net (многие устройства имеют встроенный интерфейс Device Net); потребность в диагностической информации с устройств.

При проектировании сети Device Net ключевое значение имеют следующие факторы: топология сети; коли-

чество узлов в сети; протяженность линий коммуникации; объем памяти сканера данных ввода/вывода.

Топология магистрали с ответвлениями является основной для сети Device Net. Ответвления обеспечивают последовательное подключение узлов или же позволяют создавать сегменты сети на расстоянии до 6 метров от магистральной линии (рис. 2).

Сеть Device Net поддерживает до 64 узлов. Первый порядковый номер узла зарезервирован главным сканером (master scanner), номер 63 используется по умолчанию, для адресации устройств имеется 62 узла. Современные серии контроллеров Control Logix поддерживают одновременное использование нескольких сетей Device Net, что обеспечивает гибкость системы, позволяет при необходимости увеличить количество уз-

Таблица 1. Зависимость максимальной длины кабеля от скорости передачи данных

№ п/п	Скорость передачи данных	Максимальная длина для плоского кабеля	Максимальная длина для толстого кабеля	Максимальная длина для тонкого кабеля	Суммарная длина ответвлений
1	125 Кбит/с	420 метров	500 метров	100 метров	156 метров
2	250 Кбит/с	200 метров	250 метров	100 метров	78 метров
3	500 Кбит/с	75 метров	100 метров	100 метров	39 метров

Таблица 2. Характеристики модулей сканеров в сети Device Net

№ п/п	Наименование моделей сканеров	Размер входной таблицы данных	Размер выходной таблицы данных
1	ControlLogix/1756-DNB	124 двойных слова	123 двойных слова
2	SLC-500/1747-SDN	150 слов	150 слов
3	FlexLogix/1788-DNBO	124 двойных слова	123 двойных слова
4	SoftLogix5/1784-PCIDS	1024 слова	1024 слова
5	SoftLogix5800/1784-PCIDS	124 двойных слова	123 двойных слова
6	CompactLogix/1769-SDN	90 двойных слов	90 двойных слов
7	MicroLogix 1500/1769-SDN	180 слов	180 слов

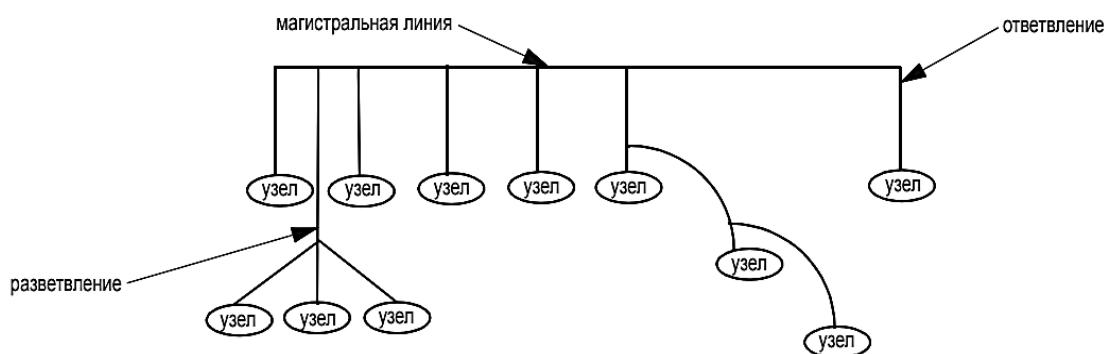


Рис. 2. Вариант организации сети Device Net

лов в сети. При проектировании топологии сети Device Net учитываются протяженность магистральной линии и ответвлении по отдельности каждого участка, а также совокупная длина всех ответвлений. Скорость передачи данных по магистральной линии является ключевым параметром, который определяет максимальную длину сегментов, в таблице 1 представлены величины максимальной длины для каждого типа кабеля для трех стандартных скоростей передачи данных в сети Device Net.

Передача и получение информации в сети Device Net происходит путем циклического сканирования устройств в сети. Сканирование устройств производит специальный сканирующий модуль, ключевым параметром которого является объем памяти ввода и вывода. Нередки ситуации, когда возможностей одного сканирующего модуля недостаточно, в таком случае стандарт сети Device Net позволяет агрегирование памяти

различных модулей для совместного использования. Ключевое значение в таком случае будет иметь достаточность размера входной и выходной таблицы данных модулей для входных и выходных дискретных сигналов соответственно. В таблице 2 приведены характеристики модулей сканеров доступных в среде Control Logix.

Сеть Ethernet IP

Предоставляет необходимый набор сервисов по управлению, конфигурированию и сбору данных, накладывая протокол CIP на стандартные протоколы, используемые в сети интернет (TCP/IP и UDP/IP). Сеть Ethernet IP использует протокол TCP/IP для общих сервисов по передаче сообщений и обмену информацией, а протокол UDP/IP — для сервисов передачи сообщений ввода/вывода в приложениях по управлению. Такое сочетание общепринятых стандартов обеспечивает функ-

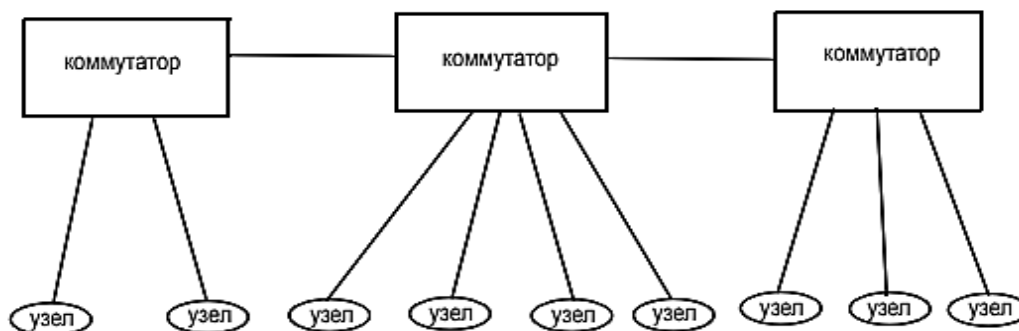


Рис. 3. Вариант организации сети Ethernet IP

циональность, необходимую для поддержки, как информационного обмена, так и приложений по управлению.

Еще одна важная особенность сети Ethernet IP заключается в возможности использования распространённых компонентов Ethernet и стандартных аппаратных средств передачи данных. Это позволяет получить экономичное решение для приложений производственного уровня, используя существующую IT инфраструктуру.

Наиболее часто сеть Ethernet IP используется в конфигурациях следующих типов: в качестве оптимального решения для объединения в сеть множества компьютеров; как рациональный выбор при необходимости подключения большого количества устройств; как стандартная сеть для обеспечения связи с системами уровня всего предприятия; в топологии «звезда», когда узлы расположены близко друг к другу.

При проектировании сети Ethernet IP ключевое значение имеют следующие факторы: топология сети; протяженность линий коммуникации; число соединений.

В сети Ethernet IP используются стандартные средства передачи данных. Сам процесс соответствует пакету стандартов и соглашений IEEE802.3/TCP/UDP/IP. Допускается использование нескольких типов средств передачи данных и вариантов топологии, но наиболее распространённым вариантом является топология звезда с применением средств передачи данных CAT5. Как показано на рис. 3, в топологии звезда применяется коммутатор или ряд соединённых друг с другом коммутаторов с двухточечным включением каждого из узлов с коммутатором.

Длина линии связи может меняться в большом диапазоне в зависимости от того, какой тип кабеля используется: медная витая пара или оптоволоконные средства передачи данных. Для сегмента на основе витой пары максимальная длина составляет не более 100 метров,

а для оптоволоконного кабеля может достигать до 10 километров.

Количество логических соединений — это ключевой параметр, который определяет пропускную способность сети Ethernet IP. Количество логических соединений определяет число устройств, с которыми взаимодействует контроллер или коммуникационный модуль. Логическое соединение устанавливает канал связи между двумя устройствами. Существуют следующие типы логических соединений: контроллер с локальными модулями I/O или локальным коммуникационным модулем; контроллер с удалённым модулем I/O или удалённым коммуникационным модулем; контроллеры с удалённым модулем I/O, оптимизированные по рэкам; производимые и потребляемые теги; сообщения.

Количество соединений, используемое контроллером косвенно, определяется при конфигурации контроллера для обмена данными с другими устройствами в системе.

Сеть Control Net

Это сеть управления в режиме реального времени, обеспечивающая высокоскоростную передачу как критичных ко времени данных ввода/вывода и блокировки, так и сообщений, включая пересылку/загрузку данных программ и конфигураций по единому физическому каналу передачи данных. Возможность эффективной передачи данных по сети Control Net значительно увеличивает производительность операций ввода/вывода и улучшает одноранговую связь в любой системе или приложении, использующем данную сеть. Control Net отличается высокой детерминированностью и стабильностью, подключение или отключение устройств не отражается на работе сети в целом. Это обеспечивает надёжную, синхронизированную и скоординированную работу сети в реальном масштабе времени. Сеть Control Net чаще всего используется в следующих типах конфи-

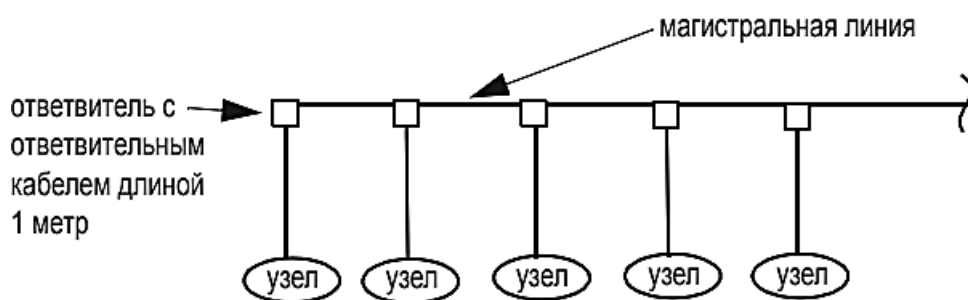


Рис. 4. Вариант организации сети Control Net: магистральная линия

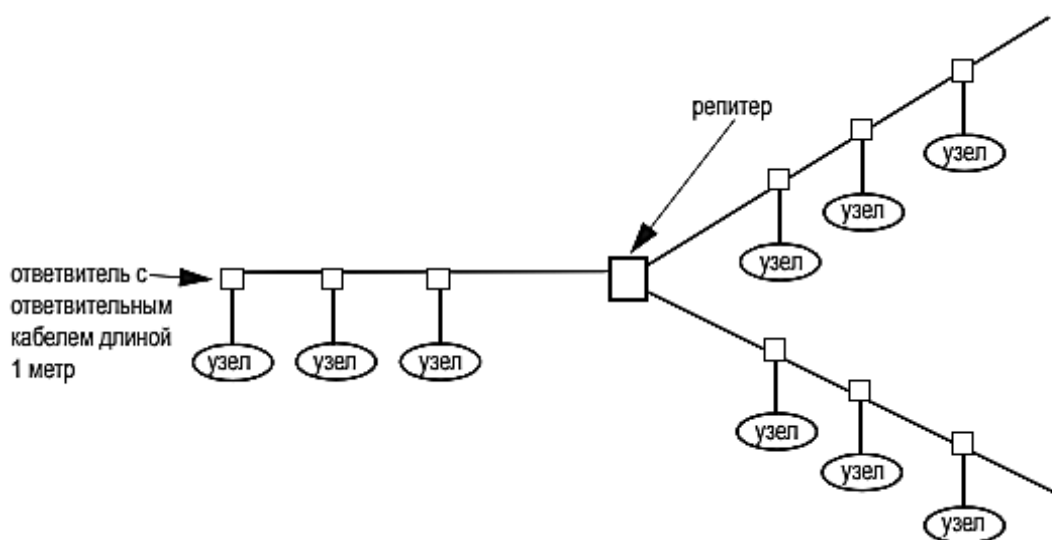


Рис. 5. Вариант организации сети Control Net: звезда

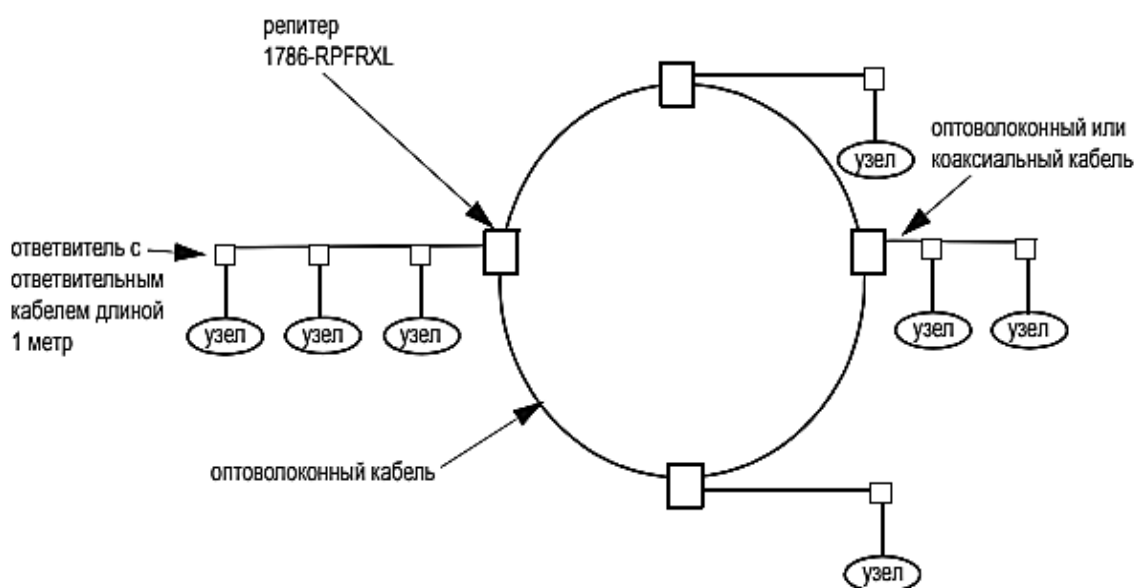


Рис. 6. Вариант организации сети Control Net: кольцо

Таблица 3. Зависимость количества соединений от коммуникационного модуля

№ п/п	Модель контроллера/ коммуникационного модуля	Количество поддерживаемых логических соединений
1	Control Logix/1756-CNB	250 на контроллер/64 на 1756-CNB
2	Flex Logix/1788-CNC	24 на 1788-CNC
3	Soft Logix 5800/1784-PCICS	250 на контроллер/128 на 1784-PCICS
4	PLC-5C15	64÷128
5	SLC-500/1747-SCNR	64

Таблица 4. Возможности реализации определенного типа сети в зависимости от назначения

№ п/п	Назначение сети	Device Net	Control Net	Ethernet IP
1	Управление вводом/выводом	допустимо использование (при низкой плотности ввода/вывода)	подходит	подходит
2	Конфигурирование устройств	подходит	подходит	подходит
3	Сбор данных (в компьютерах)	допустимо использование	подходит	подходит
4	Одноранговая (peer-to-peer) передача сообщений между контроллерами	отсутствует	подходит	подходит
5	Одноранговая (peer-to-peer) взаимная блокировка между контроллерами	отсутствует	подходит	подходит

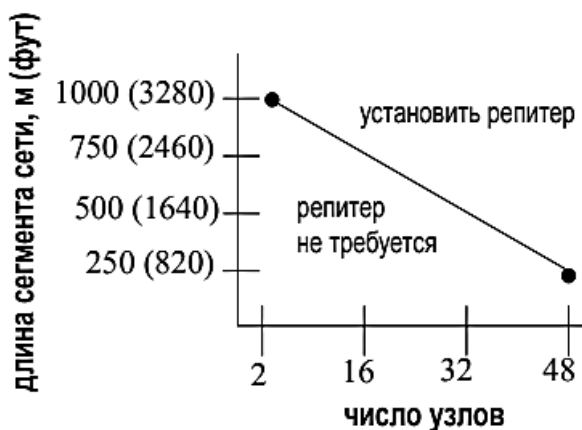


Рис. 7. Методика расчета необходимого количества репитеров в сети Control Net

гураций: как сеть, используемая по умолчанию для платформ Control Logix; в качестве альтернативы/замены для сети удаленного ввода/вывода, поскольку сеть Control Net обеспечивает обслуживание большого количества таких точек; как опорная сеть для нескольких распределенных сетей Device Net; как одноранговая сеть с блокировкой.

При проектировании сети Control Net ключевое значение имеют следующие факторы: топология сети; количество узлов в сети; протяженность линий коммуникации; количество логических соединений.

Control Net поддерживает различные типы топологий, это топологии магистрали с ответвлениями, звезды,

дерева и кольца. В простейшей форме сеть Control Net выглядит как магистральная линия, к которой подключены узлы с ответвителем и ответвительным кабелем длиной до 1 метра. Пример такой организации сети приведен на рис. 4. Для построения других топологий требуются репитеры. Примеры топологии звезда и кольцо приведены на рис. 5 и 6.

Сеть Control Net имеет поддержку до 99 узлов. Контроллеры Control Logix имеют возможность одновременной поддержки нескольких сетей Control Net, это обеспечивает системе гибкость, позволяет при необходимости увеличить количество узлов в сети и повысить производительность системы. Протяженность линии в сети Control Net зависит от числа узлов сети. Для увеличения числа узлов и протяженности линии, используются репитеры. Максимально допустимая длина сегмента сети (L_{max}) определяется по следующей формуле:

$$L_{max} = 1000 \text{ м} - 16,3 \text{ м} \cdot n_{отв},$$

где L_{max} — максимально допустимая длина сегмента сети, м; $n_{отв}$ — количество ответвлений.

Методика расчета необходимого количества репитеров представлена на диаграмме (рис. 7).

Количество логических соединений — это один из факторов который необходимо учитывать, рассчитывая пропускную способность сети Control Net. Количество логических соединений устанавливает количество устройств, с которыми может взаимодействовать контроллер или коммуникационный модуль. Логическое соединение необходимо для установки канала связи между двумя устройствами. Существуют следующие логические соединения: контроллер с локальным модулем ввода/вывода или коммуникационным модулем; кон-

троллер с удаленным модулем ввода/вывода или коммуникационным модулем;

- ◆ контроллер с удаленным модулем ввода/вывода, оптимизированным по рэк-стойкам; производимые и потребляемые теги; сообщения.

Процесс конфигурации контроллера для обмена данными с другими устройствами в системе косвенно определяет число используемых контроллером логических соединений. В таблице 3 приведена информация по количеству соединений, поддерживаемых Control Net различными коммуникационными модулями.

Заключение

Проанализировав основные характеристики и топологии сетей можно дать рекомендации, для каких задач наиболее эффективно использовать тот или иной тип сети открытой сетевой архитектуры NET Linx в системе Control Logix. В таблице 4 эта информация сведена в наглядную форму.

Таким образом, стоит отметить, что для реализации современных автоматизированных систем управления технологическими процессами на промышленном предприятии с использованием открытой сетевой архитектуры NET Linx в системе Control Logix идеально подойдут сети Device Net, Control Net и Ethernet IP, имеющие широкие возможности в назначении применения и различные варианты своей организации, а также прекрасно дополняющие друг друга. Несмотря на повсеместное внедрение АСУТП в промышленности, остаются факторы, сдерживающие распространение таких систем на горном предприятии, из которых можно выделить: неготовность оперативно-диспетчерского персонала к быстрой адаптации при работе в таких сложных системах [12]; обеспечение безопасности на всех уровнях передачи данных [13, 14].

ЛИТЕРАТУРА

1. Башков Д.А., Веселов В. А., Исаев Е. А. Опыт создания АСУТП на николаевской обогатительной фабрике // Горный журнал. — 2016. — № 11. — С. 85–89.
2. Матул Г.А., Семёнов А. С. К вопросу о комплексной автоматизации открытых горных работ в алмазодобывающей промышленности // Естественные и технические науки. — 2016. — № 12 (102). — С. 265–268.
3. Бебихов Ю.В., Егоров А. Н., Семёнов А. С. Автоматизация технологических и производственных процессов: учебное пособие. — М.: Издательство «Перо», 2019. — 102 с.
4. Паспорт программы инновационного развития и технологической модернизации АК «АЛРОСА» (ПАО) на период 2016–2023 гг. (редакция 2016 г.). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alrosa.ru/производство/инновационное-развитие/> (дата обращения: 02.03.2020).
5. Кузьмин Ю. Б. Моделирование степени автоматизации иерархических систем управления на примере АСУТП предприятия // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2017. — № 6. — С. 13–22.
6. Николаев А.В., Камакин А. Н., Васильков Ю. В. Повышение производительности оборудования модернизацией АСУТП // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ. — 2017. — Т. 5. — С. 11–13.
7. Чуркин Г.М., Шиловский В. И., Развин А. А. Формирование альтернативных конфигураций структур локальной автоматизации АСУТП // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ. — 2017. — Т. 6. — С. 9–13.

8. Белозеров В.В., Белозеров В.В. Автоматизация создания АСУТП опасных производственных объектов // Электроника и электротехника. — 2017. — № 2. — С. 27–42.
9. Колодников И.А., Лебедев В. О. К вопросу об архитектуре современных АСУТП // Автоматизация в промышленности. — 2018. — № 8. — С. 9–12.
10. Волотковский А.А., Семёнов А. С. Автоматизация системы управления перемещением при использовании функции скорости (на примере транспортировки стекла) // Студенческий научный форум — 2019: материалы XI международной студенческой электронной научной конференции. [Электронный ресурс]. URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018017525> (дата обращения: 26.03.2019).
11. Рогов С.Л. Устройства управления реверсивным приводом в АСУТП // Автоматизация в промышленности. — 2017. — № 1. — С. 10–13.
12. Григорьев Л.И., Чернышева О. Н., Кучерявый В. В. Оценка профессионально важных психологических характеристик диспетчера в человеко-машинных системах АСУТП нефтегазового производства // Проблемы управления. — 2017. — № 1. — С. 65–74.
13. Литвинов Е. М. Безопасность АСУТП // Автоматизация в промышленности. — 2017. — № 7. — С. 33–35.
14. Корнев А. В. Кибербезопасность АСУТП: взвешенный подход // Автоматизация в промышленности. — 2017. — № 7. — С. 41–46.

© Бибихов Юрий Владимирович (bebikhov.yura@mail.ru), Матул Глеб Андреевич (mailbox428@gmail.com),
Семёнов Александр Сергеевич (sash-alex@yandex.ru),
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Политехнический институт (филиал) СВФУ им. М.К. Аммосова