



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.724

## НИЗКОСКОРОСТНОЙ ПРОТОКОЛ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МАНЧЕСТЕРСКОГО КОДИРОВАНИЯ

<sup>1</sup>**Мищенко И.А., Рубцов Ю.Ф.**

*ФГАОУ ВО "ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Пермь, Россия, (614990, Пермский край, город Пермь, Комсомольский пр-кт, д.29), e-mail: [1rehino@permlink.ru](mailto:1rehino@permlink.ru)*

В статье рассматривается метод передачи телемеханических данных на основе манчестерского кодирования. Актуальность исследования обусловлена широко применяющимися в промышленности протяжёнными линиями связи, которые работают в условиях сильных помех и обладают жёсткими требованиями к надёжности обмена данными.

При этом значительная часть используемых на практике протоколов обмена является закрытыми разработками конкретных производителей, а описания открытых решений, ориентированных на низкоскоростные линии в доступной литературе, носят фрагментарный характер. Предложен собственный протокол обмена данными на основе манчестерского кодирования.

Ключевые слова: Манчестерское кодирование, полудуплексная передача, телеметрия, синхронизация, помехоустойчивость, кодирование линии.

## LOW-SPEED DATA TRANSMISSION PROTOCOL BASED ON MANCHESTER CODING

<sup>1</sup>**Mishchenko I. A., Rubtsov Yu. F.**

*PERM NATIONAL RESEARCH POLYTECHNIC UNIVERSITY, Perm, Russia, (614990, Perm region, Perm, Komsomolskiy pr-kt, 29), e-mail: [1rehino@permlink.ru](mailto:1rehino@permlink.ru)*

The article discusses a method of telemechanical data transmission based on Manchester coding. The relevance of the research is due to the widespread use of long communication lines in industry, which operate in conditions of strong interference and have strict requirements for data exchange reliability. At the same time, a significant part of the exchange protocols used in practice are closed developments of specific manufacturers, and descriptions of open solutions oriented towards low-speed lines in the available literature are fragmentary. A data exchange protocol based on Manchester coding is proposed.

Keywords: Manchester encoding, half-duplex transmission, telemetry, synchronization, noise immunity, line coding.

В нефтедобыче предъявляют повышенные требования к надёжности канала передачи данных между погружным оборудованием и наземной станцией управления. От актуальности полученных данных зависит: оценка работы оборудования, своевременное срабатывание защит, предотвращение аварийных ситуаций, регулирование режима работы оборудования.

Рассмотрим условную схему установки электроцентробежного насоса на Рисунке 1.

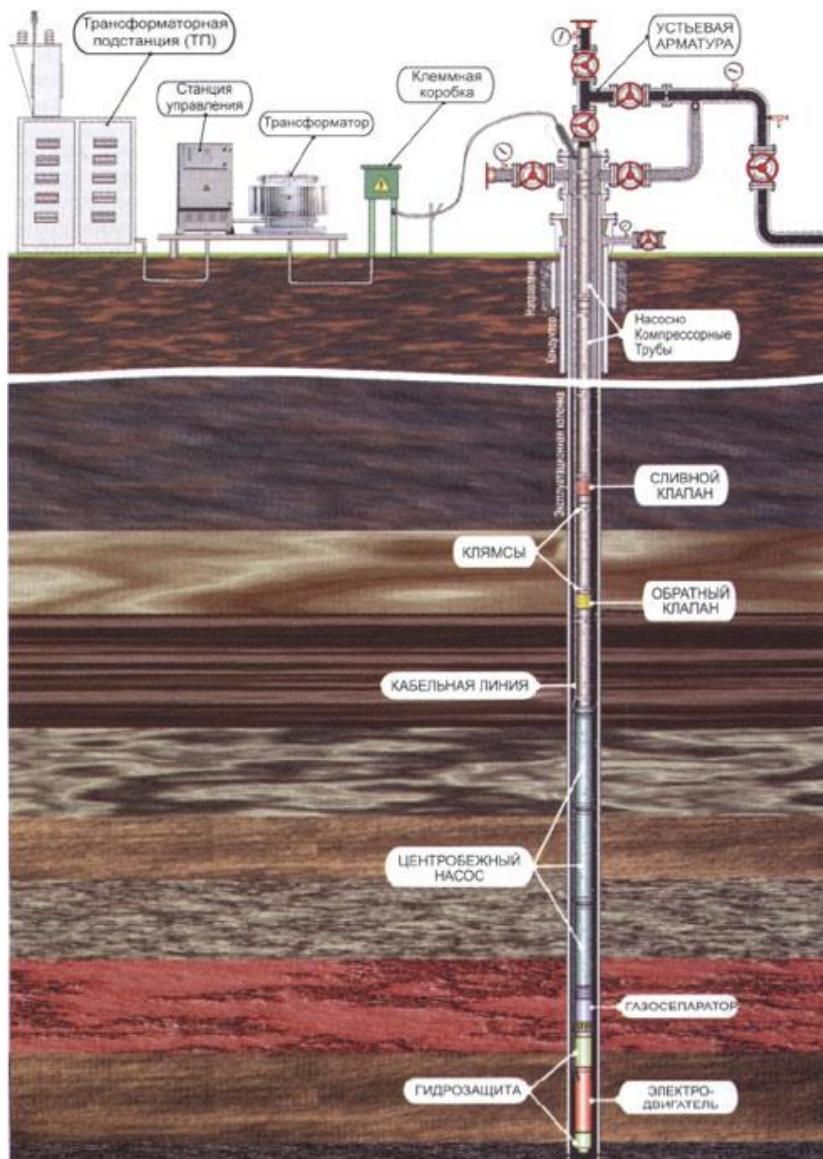


Рисунок 1 - Условная схема установки электроцентробежного насоса

Здесь линией передачи данных является кабель между станцией управления электроцентробежным насосом и оборудованием, спущенным в скважину.

Протяжённость линии передачи данных может достигать 3 километров.

Отметим, что электромагнитные помехи от работы погружного электродвигателя и большая протяжённость линии делают невозможным передачу данных по этому каналу с помощью высокоскоростных технологий.

В системах скважинной телемеханики применяют протокол обмена «Transfer», декларируемый как набор требований и ограничений, которые обязаны стандартизировать оборудование и программное обеспечение от разных производителей скважинных телемеханических систем с применением электроцентробежных насосов [1].

В протоколе «Transfer» на физическом уровне используется манчестерское кодирование [2]. Протокол работает в полудуплексном режиме передачи данных.

Манчестерский код – это тип линейного двоичного кодирования, в котором информация заключена не в уровнях сигнала как таковых, а в переходах напряжения. Логическая “1” и “0” отличаются направлением переключения сигнала в середине битового интервала [3].

Физически это означает, что длительность каждого полубита соответствует половине периода тактового генератора [4], (Рисунок 1).

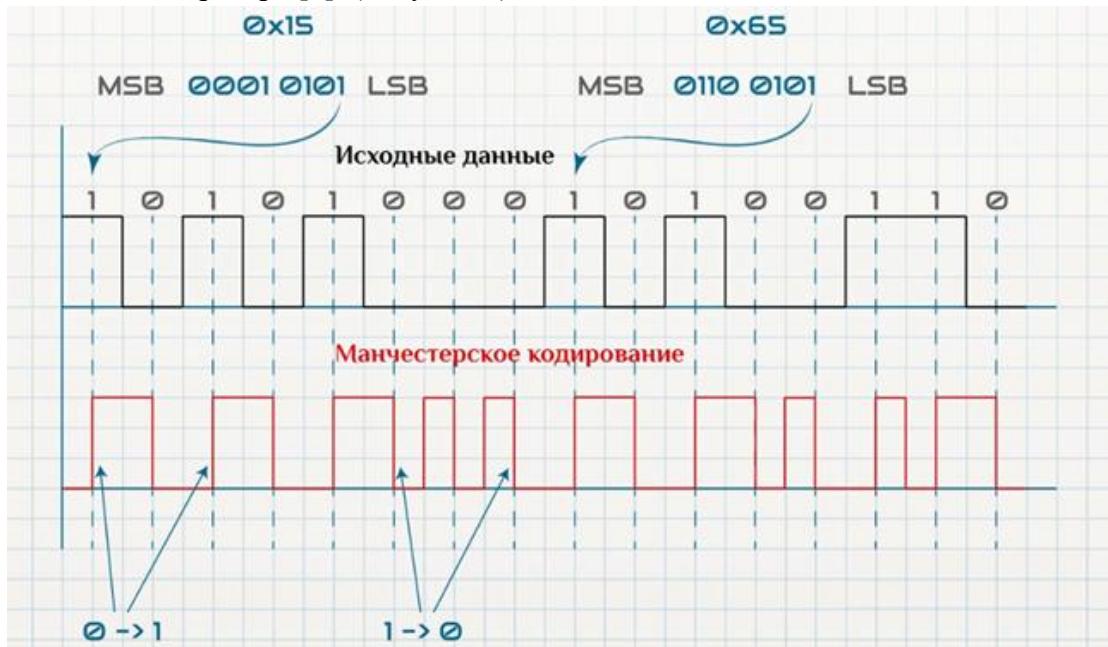


Рисунок 2 - Пример кодирования двух байт {0x15, 0x65}

Такой подход позволяет объединить тактовую синхронизацию с передачей данных: частые переходы сигнала дают возможность приемнику выровнять свою тактовую частоту и правильно выделить биты без отдельной синхропосылки [5].

Сигнал манчестерского кода, формируется дифференциально, благодаря чему в линии отсутствует постоянная составляющая тока, способная вызывать смещение нулевого уровня [6]. Это особенно важно при передаче по длинному кабелю с ёмкостной и индуктивной составляющими: отсутствие постоянной составляющей предотвращает накопление заряда на ёмкостях и упрощает гальваническую развязку.

Кроме того, манчестерский код является самосинхронизирующимся – приемник постоянно синхронизируется по каждому переходу, что критически важно при переменной скорости передачи или нестабильных условиях канала [7].

Полудуплексный режим означает, что в каждый момент времени передача ведётся только в одном направлении: либо наземный блок посыпает команду-запрос, либо погружной блок отправляет данные ответа [8].

Такой принцип обеспечивает поочерёдную двустороннюю связь по одному кабелю без выделенной линии синхронизации.

«Transfer» широко применяется, но обладает принципиальными недостатками:

1. При искажении данных не предусмотрена попытка восстановления, кадр отбрасывается как повреждённый.
2. Данные передаются последовательно по статично определённой очереди.

В рассматриваемой системе станция управления принимает от погружной телемеханики 32 параметра. Параметры разделены на 8 кадров, где в каждом кадре передается по 4 параметра.

Пакет данных согласно «Transfer» имеет структуру, представленную на Рисунке 3.

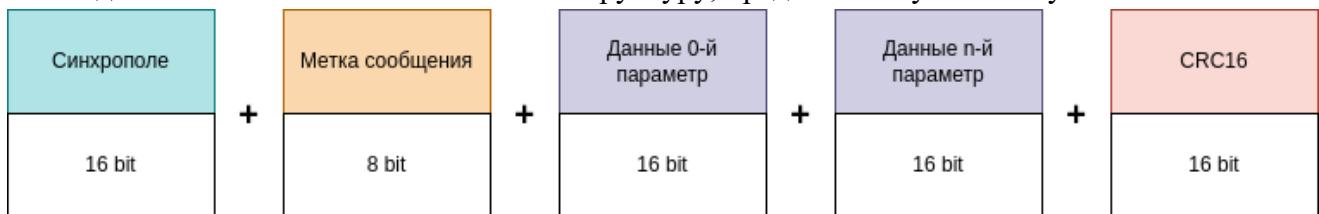


Рисунок 3 - Кадр данных

Тогда суммарный объём одного кадра данных будет равен:  $(16+8)+(16*4)+16=104$  бита.

Согласно требованиям «Transfer» время кодирования одного бита должно занимать 80 миллисекунд  $\pm 10\%$ .

Для удобства расчётов переведём миллисекунды в секунды: 80 миллисекунд — это 0,08 секунды.

Кодирование одного такого кадра займет:  $104*0.08=8,32$  секунды.

Ответное сообщение имеет структуру, представленную на Рисунке 4.

В качестве метки сообщения здесь может быть константа для подтверждения того, что данные были получены, либо константа, говорящая об ошибке, либо иная команда.



Рисунок 4 - Кадр подтверждения

Кодирование такого кадра займет:  $40*0,08=3,2$  секунды.

При наличии искажений в принятом кадре его содержимое не сможет успешно пройти проверку по контрольной сумме.

Согласно «Transfer» в такой ситуации допустимо действовать двумя методами:

1. Искажённый кадр отбрасывается, обмен данными продолжается.

Время полного цикла опроса в идеальных условиях занимает  $8*(8,32+3,2)=92,16$  секунд, т.е. следующие актуальные данные из потерянного кадра будут получены через 92 секунды, при последовательном обновлении.

2. Поврежденный кадр запрашивается повторно.

В таком случае время ожидания составит  $8,32+3,2 = 11,52$  секунд.

Таким образом, из-за низкой скорости кодирования данных оба варианта равны потере связи с погружным оборудованием. В обоих случаях теряются актуальные данные, что в свою очередь увеличивает время срабатывания защит оборудования на неопределенный срок и может привести к аварии. Искажение данных возникает случайно и связано с физическим параметрами системы.

Важно отметить, что уменьшение объема полезных данных, передаваемых в одном кадре, положительно сказывается на количестве ошибок контрольной суммы, это происходит за счет сокращения времени кодирования данных [9].

Чем короче сообщения, тем меньше оно подвержено искажениям, но при таком подходе основными данными в сообщениях будет являться избыточный код, который состоит из: преамбулы, метки пакета и контрольной суммы.

С учётом изложенного было предложено разработать собственный протокол передачи данных на основе манчестерского кодирования.

Разработанный протокол обмена физически основан на манчестерском кодировании. Длина кодирования одного бита принята как 100 миллисекунд  $\pm 10\%$ .

### **Ключевые аспекты разработанного протокола:**

1. Данные разделяются на две категории: «контролируемые» и «вторичные». Параметры в кадрах закреплены статично и объединены общим логическим смыслом.

Под «контролируемыми данными» понимаются данные, на основе которых могут сработать защитные уставки.

Например, в рассматриваемой системе под это подходят: “Вибрация по оси X”, “Вибрация по оси Y”, “Вибрация по оси Z”, “Температура статора погружного двигателя”, “Давление жидкости”.

К «вторичным данным» относятся, например: “Температура жидкости”, “Обводнённость нефти” и прочее параметры, изменение значений которых не могут привести к аварии.

Пример выбора общего логического смысла кадра: вместе с вибрацией по оси Z логично обновить также вибрацию по оси Y и вибрацию по оси X, потому что это данные одной категории и у каждого из этих параметров определены защитные уставки, которые относятся к одной и той же аварийной ситуации – опасно высокий уровень вибрации погружного электродвигателя.

2. Обмен данными начинается с поочерёдной передачи всех имеющихся кадров, а затем включается балансировщик нагрузки на канал данных (пункт 3).

3. Порядок кодирования и отправки определяется очередью.

За каждый из перечисленных ниже пунктов начисляются баллы приоритета.

Чем выше сумма баллов приоритета по всем пунктам, тем выше приоритет кадра и тем раньше он будет закодирован и отправлен.

- Оценка категории параметров в кадре

Проверяется, относится ли параметр кадра к «контролируемым» или же к «вторичным» данным и сколько таких параметров в кадре.

Чем больше важных данных в кадре, тем больше баллов начисляется.

- Оценка порядкового номера кадра

Возможна ситуация, когда в очереди одновременно присутствует несколько кадров, полностью состоящих из «контролируемых» данных, либо кадры, сумма баллов приоритета у которых равна.

Для разрешения таких конфликтов приоритет равнозначных кадров определяется их порядковым номером в статически сформированном наборе.

- Оценка времени с момента последнего обновления

Проверяется, как давно параметр был обновлён. Чем больше прошло времени, тем больше баллов начисляется.

- Оценка разницы между значением параметра, которое было передано ранее и значением, которое считано с датчиков и планируется к передаче.

В рассматриваемой системе присутствуют параметры, которые в силу своей физической природы изменяются медленно, однако их значения необходимо регулярно актуализировать, поскольку со временем они всё же могут меняться.

Исходя из этого нецелесообразно занимать канал передачи данных параметрами, значения которых не отличаются от ранее переданных хотя бы на  $\pm 5\%$ . Чем сильнее изменилось значение параметра, тем больше баллов начисляется.

- Оценка количества параметров в кадре, которые изменились с момента последнего обновления.

Оценивается, сколько значений параметров кадра изменилось на  $\pm 5\%$ . Чем больше таких параметров в кадре, тем больше баллов начисляется.

#### 4. Каждый кадр кодируется кодом Хэмминга.

Код Хэмминга позволяет восстановить сообщение при декодировании, если оно было частично искажено [10]. Это повышает избыточность данных на 43%, однако такой подход решает одну из ключевых проблем протокола «Transfer».

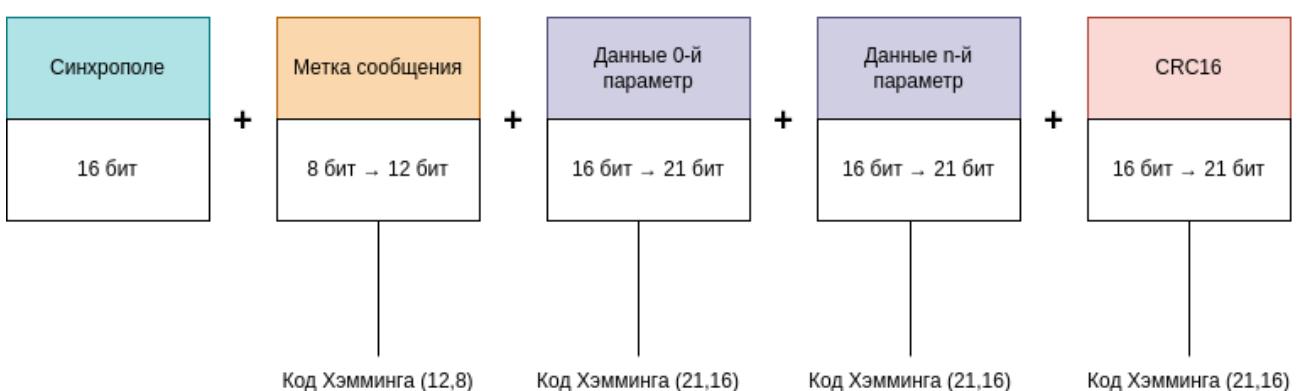


Рисунок 5 - Кадр данных разработанного протокола

Благодаря сумме описанных принципов разработанный протокол позволяет в автоматическом режиме эффективно балансировать нагрузку на канал данных и поддерживать высокую частоту обновления критически важных параметров.

Относительно «Transfer» разработанный протокол обмена обладает следующими преимуществами:

- исключены случаи, когда канал занят передачей актуальных (неизменившихся) значений;
- общий объём потерянных сообщений из-за ошибки контрольной суммы не более 1% от общего объема переданных данных (тогда как у «Transfer» это не менее 20%, при том же объеме переданных данных);
- частота обновления контролируемых уставками данных выше в несколько раз.

## Список литературы

1. Яшметов В. А. Реализация единого протокола ТМС и единых технических требований к системам погружной телеметрии // Инженерная практика. – 2018. – № 10. – С. 62–67.
2. Лемешко Н., Струнин П. Анализ сигналов в манчестерском и NRZ-коде с произвольными параметрами при помощи осциллографов R&S RTE. Ч. 1 // Современная электроника. – 2019. – № 1. – С. 54–57.
3. Лемешко Н., Струнин П. Анализ сигналов в манчестерском и NRZ-коде с произвольными параметрами при помощи осциллографов R&S RTE. Ч. 2 // Современная электроника. – 2019. – № 2. – С. 40–45.
4. Jameel L. W. Manchester Coding and Decoding Generation Theoretical and Experimental Design // American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. – 2018. – Vol. 42. – No. 1. – pp. 130–138.
5. Ricci S., Cennamo N., Zeni L., Aliberti A. FPGA-Based Manchester Decoder for IEEE 802.15.7 Visible Light Communication Systems // Electronics. – 2024. – Vol. 14. – No. 1. – p. 96.
6. Farmanbar M., Shaker G. Simulation of Foundation Fieldbus Manchester coded 31.25 kbit/s digital communication signal // IECON 2016 – 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society: Proc. – Florence, 2016. – pp. 5439–5444.
7. Digital data communications for measurement and control. Fieldbus for use in industrial control systems. Part 2: Physical layer specification and service definition (IEC 61158-2). – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2014.
8. Шувалов В. П., Захарченко Н. В. Передача дискретных сообщений: учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
9. Гук М. Ю. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
10. Парк Дж., Маккей С., Райт Э. Передача данных в системах контроля и управления: практическое руководство. – М.: Группа ИДТ, 2007. – 480 с.

## References

1. Yashmetov V. A. Realization of a unified TMS protocol and unified technical requirements for downhole telemetry systems // Engineering Practice. 2018. No. 10. pp. 62–67.
2. Lemeshko N., Strunin P. Analysis of signals in Manchester and NRZ code with arbitrary parameters using R&S RTE oscilloscopes. Part 1 // Modern Electronics. 2019. No. 1. pp. 54–57.
3. Lemeshko N., Strunin P. Analysis of signals in Manchester and NRZ code with arbitrary parameters using R&S RTE oscilloscopes. Part 2 // Modern Electronics. 2019. No. 2. pp. 40–45.
4. Jameel L. W. Manchester Coding and Decoding Generation Theoretical and Experimental Design // American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. 2018. Vol. 42. No. 1. pp. 130–138.
5. Ricci S., Cennamo N., Zeni L., Aliberti A. FPGA-Based Manchester Decoder for IEEE 802.15.7 Visible Light Communication Systems // Electronics. 2024. Vol. 14. No. 1. p. 96.
6. Farmanbar M., Shaker G. Simulation of Foundation Fieldbus Manchester coded 31.25 kbit/s digital communication signal // IECON 2016 – 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society: Proceedings. Florence, 2016. pp. 5439–5444.
7. Digital data communications for measurement and control. Fieldbus for use in industrial control systems. Part 2: Physical layer specification and service definition (IEC 61158-2). Geneva, International Electrotechnical Commission, 2014.

Мищенко И.А., Рубцов Ю.Ф. Низкоскоростной протокол передачи данных на основе манчестерского кодирования // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2025. – Т. 10 № 12(62) с. 84–91

---

8. Shuvalov V. P., Zakharchenko N. V. Transmission of Discrete Messages: textbook for universities. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1990. p. 464
  9. Guk M. Yu. PC Hardware Interfaces. Encyclopedia. St. Petersburg, Piter Publ., 2002. 528 p.
  10. Park J., Mackay S., Wright E. Data Communications in Control and Automation Systems: a Practical Guide. Moscow, IDT Group Publ., 2007. p.480
-