

УДК 550.832.9: 004.272

## СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИННОЙ ИНФОРМАЦИИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ ПО БЕСПРОВОДНОМУ КАНАЛУ СВЯЗИ

Тынчеров Камиль Талытович<sup>1</sup>,  
academic-mvd@mail.ru

Червяков Николай Иванович<sup>2</sup>,  
k-fmf-primath@stavs.ru

Селиванова Мария Вячеславовна<sup>1,3</sup>,  
selivanovamara@gmail.com

Калмыков Игорь Анатольевич<sup>2</sup>,  
kia762@yandex.ru

<sup>1</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
Россия, 452600, Республика Башкортостан, г. Октябрьский, ул. Девонская, 54А.

<sup>2</sup> Северо-Кавказский федеральный университет,  
Россия, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.

<sup>3</sup> Казанский Федеральный университет,  
Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18.

**Актуальность** исследования обусловлена необходимостью получения достоверной информации о состоянии нефтяных скважин, оборудованных штанговыми глубинными насосами. Как правило, телеметрические приборы спускаются в скважины на специальном каротажном кабеле, по которому осуществляется питание, управление и передача на дневную поверхность информации о соответствующих параметрах режима работы скважин и окружающих ее горных породах, где данные регистрируются и обрабатываются. В скважинах, оборудованных штанговыми глубинными насосами, используется пакерное (англ. packer) изолирующее оборудование, которое препятствует использованию кабельных телеметрических систем, поэтому информацию приходится передавать по беспроводным каналам связи. Общеизвестным является факт, что с увеличением глубины продуктивного нефтяного пласта надежность электромагнитного канала снижается. В качестве решения проблемы обеспечения нефтедобывающих компаний достоверной информацией о состоянии скважины применяются различные подходы: варьирование между мощностью радиопередатчика и частотой приема–передачи (от низких до сверхнизких), обеспечение автономным питанием с длительными сроками эксплуатации (например, батареи литиевых элементов Tadiran SL2790 T (DD)) и т. д. А что делать, если электромагнитный канал относительно устойчив, а информация на приеме все равно искажена? В этом случае обычно добиваются повышения достоверности принимаемой информации. Поэтому авторы предлагают применение помехоустойчивого кодирования информации, когда вместо традиционного кодирования в позиционной системе счисления, применяются коды непозиционной арифметики в остаточных классах. В статье доказываем, что система остаточных классов обладает лучшими корректирующими способностями и способна не только обнаруживать ошибки, но и исправлять их.

**Цель:** повышение достоверности передаваемой по беспроводному каналу связи информации за счет обнаружения и исправления ошибок в системе избыточного кодирования сигналов.

**Объекты:** отказоустойчивые вычислительные структуры цифровой обработки сигналов беспроводных телеметрических систем, функционирующие в базе алгоритмов модулярной арифметики.

**Методы** исследования базируются на использовании методов математического моделирования, математического аппарата теории чисел, теории кодирования с оценкой достоверности полученной информации о состоянии скважины на основе сравнения расчетных и фактических показателей температуры, давления, содержания воды в смеси и дебита.

**Результаты.** За счет обнаружения и исправления ошибок, возникающих при приеме–передаче телеметрической информации, достигнуто существенное повышение достоверности приема, что в конечном итоге позволяет более качественно проводить гидродинамическое исследование нефтяной скважины, оборудованной штанговым глубинным насосом.

### Ключевые слова:

Нефтяные скважины; беспроводной электромагнитный канал, телеметрическая информация, кодирование, система остаточных классов, корректирующие способности, обнаружение и исправление ошибок.

### Введение

При проведении гидродинамических исследований нефтяных скважин, оборудованных штанговыми глубинными насосами, одной из наиболее сложных проблем является передача телеметрической скважинной информации на поверхность. Телеметрическая скважинная информация представляет собой данные, полученные от датчиков и

преобразованные в цифровую форму по таким параметрам, как температура, давление, расход, содержание воды в смеси и др.

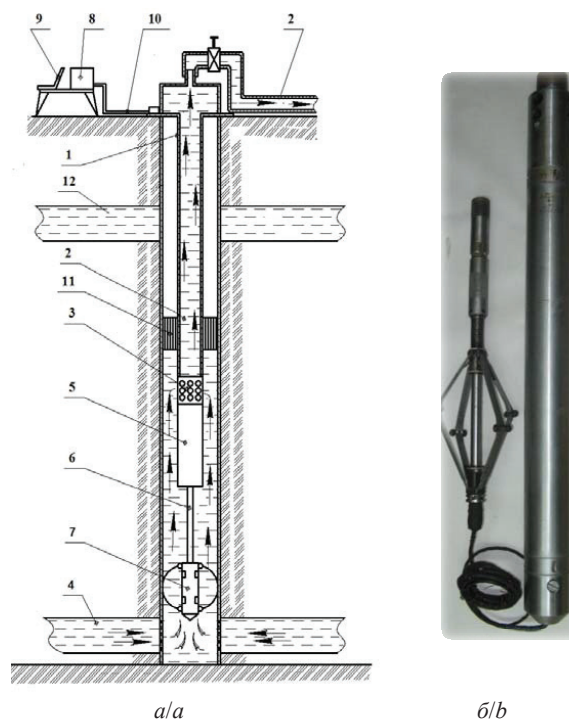
Как правило, беспроводные телеметрические системы включают следующие основные части: скважинную и наземную аппаратуру, канал связи; технологическую оснастку, антенну для электромагнитной линии связи; источник электрической

энергии для телесистем с беспроводной линией связи [1, 2]. Скважинная часть телесистемы включает первичные преобразователи измеряемых геофизических и технологических параметров добычи природных углеводородов. Данные от первичных преобразователей через коммутатор поступают на аналого-цифровой преобразователь, затем через кодирующее устройство и передатчик поступают в канал связи. На поверхности кодированная информация различными способами расшифровывается и поступает на системы отображения и обработки для принятия решений о состоянии скважины или эффективности работы насосного оборудования.

Конструкция скважин со штанговыми глубинными насосами при определенных способах добычи углеводородов предполагает использование изолирующих пакерных устройств, препятствующих проведению кабеля. Поэтому для передачи информации со скважинных телеметрических приборов обычно применяют беспроводные каналы связи: гидравлический, электрический, акустический и некоторые другие. Главным недостатком указанных каналов является то, что с увеличением глубины скважины происходит значительное затухание и искажение сигнала. Несколько меньшим затуханием обладает электромагнитный канал связи. Но и его надежность, как правило, ограничена глубиной до 800–1000 м, в зависимости от геологических условий. Способ передачи по электромагнитному каналу связи заключается в формировании скважинной информации в виде электрических сигналов, с последующей их передачей к устью скважины по колонне насосно-компрессорных труб (НКТ) со встроенным в колонну электрическим разделителем (рис. 1).

С целью увеличения дальности канала связи постоянное напряжение подают на колонну буровых труб выше электрического разделителя, по крайней мере, еще в одной точке. Для этого в состав колонны НКТ в точке подачи постоянного напряжения устанавливают дополнительный электрический разделитель, электроды которого подключены к дополнительному источнику питания [1, 2]. Для повышения достоверности передаваемой на поверхность информации используют широкополосные шумоподобные сигналы на основе кодов Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ-коды) и многократную передачу на низких частотах. БЧХ-коды являются циклическими кодами, задаваемыми порождающими полиномами. Для нахождения порождающего полинома необходимо заранее определить длину кода  $n$ , которая не может быть произвольной, и требуемое минимальное расстояние  $d/n$ . Частным случаем БЧХ-кодов является код Рида-Соломона. Вместе с тем применение подобного кодирования не всегда бывает рациональным. Кодирование БЧХ-кодами с целью обеспечения надежной коррекции ошибок влечет высокие аппаратные затраты и, как правило, значительное увеличение скорости цифровой обра-

ботки. Из-за влияния помех различного характера принимаемые сигналы часто сильно искажены, и полученная таким образом ошибочная информация негативно сказывается на результатах исследования скважинных параметров. Опыт применения систем телеметрии в 2013–2016 гг. на месторождениях ОАО «Ульяновскнефть» и ОАО «Саратовнефтегаз» это подтверждает.



**Рис. 1.** Технологическая схема измерения телеметрической системой при добыче углеводородов с изолирующим пакером (а) и внешний вид прибора (б): 1 – НКТ; 2 – водовод; 3 – фильтр; 4 – продуктивный пласт; 5 – основной модуль; 6 – соединительный кабель; 7 – измерительный модуль; 8 – наземный регистрирующий блок; 9 – компьютер; 10 – линии связи с приемником; 11 – пакер; 12 – изолированный пласт

**Fig. 1.** Technological scheme for measuring with telemetric system in production of hydrocarbons with an insulating packer (a) and the appearance of the device (b): 1 is the tubing; 2 is the water conduit; 3 is the filter; 4 is the productive layer; 5 is the main module; 6 is the connecting cable; 7 is the measuring module; 8 is the ground registration unit; 9 is the computer; 10 are the communication lines with the receiver; 11 is the packer; 12 is the isolated layer

На рис. 2 представлены данные наземного блока регистрации, получаемые от датчиков погружной телеметрической системы в процессе ее спуска в скважину.

Испытание работы прибора на глубине 1100 м в ОАО «Ульяновскнефть» в 2013 г. показало, что даже при условии устойчивого приема несущей сигнала значительная часть информации была искажена. Авторы считают, что одной из вероятных причин, повлиявших на низкую достоверность передаваемой информации, явилось применение для

кодирования сигналов обычной позиционной системы счисления, обладающей слабыми возможностями к самокоррекции после воздействия различных помех. Следовательно, задача поиска системы счисления, обладающей способностью самостоятельно обнаруживать и исправлять возникающие в процессе цифровой обработки сигналов ошибки, является актуальной [3–9].

**О способе повышения достоверности телеметрической информации, основанном на избыточном кодировании**

В качестве решения задачи предлагается исследование возможностей кодирования телеметрической информации в базе непозиционной системы счисления, потенциально обладающей корректируемыми свойствами.

Из существующих корректирующих кодов наибольший интерес представляют коды системы остаточных классов [3, 6–9].

Система остаточных классов (СОК) основана на Китайской теореме об остатках, предложенной приблизительно в III–V вв. нашей эры китайским математиком Сун-Цзы. В этой системе операнды представляются в виде набора остатков, или вычетов,  $\alpha_i, i=1...n$  от деления исходного числа  $A$  на совокупность натуральных взаимно-простых чисел  $m_i$ , называемых основаниями, или модулями, СОК, т. е.  $A=(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ , где наибольший общий делитель  $(m_i, m_k)=1, j \neq k$ .

Кодирование в СОК предполагает, что если множество  $L$  содержит совокупность натуральных чисел  $A$ , например  $A_1, A_2 \in L$ , то и любое число  $A_3$ , находящееся между  $A_1$  и  $A_2$ , также принадлежит множеству  $L$ , т. е.  $A_3 \in L$ . И вообще, любое число  $A_k \in L$  можно представить в СОК с основанием  $M=[m_1, m_2, \dots, m_n]$ , если  $L \leq M$ , где  $M$  является наименьшим общим кратным натуральных чисел  $m_1, m_2, \dots, m_n, (m_1 \times m_2 \times \dots \times m_n = P_n)$ .

Указанные соотношения являются базовыми для создания кодов, способных корректировать ошибки, возникающие в процессе цифровой обработки информации в скважинных телеметрических системах. В зависимости от соотношения между величинами  $L, M$  и  $P_n$  корректирующие коды в СОК делят на три класса:

- нелинейные коды ( $L=M=P_n$ );
- полулинейные коды ( $L < M < P_n$ );
- линейные коды ( $L=M < P_n$ ) [4].

Нелинейным кодом, или  $R$ -кодом, считается такой код, векторам  $\Gamma$  которого соответствуют числа, представленные в СОК с попарно простыми (не имеющими общего делителя) основаниями  $m_1, m_2, \dots, m_n$ .

Такие коды могут иметь любое минимальное кодовое расстояние  $d_{min}$  в зависимости от степени избыточности  $R=P_n/L$ , причем для любой заданной СОК величина  $R$  однозначно определяет корректирующие возможности  $R$ -кода.

Действительно,  $R$ -код имеет минимальное расстояние в том случае, когда степень избыточности не

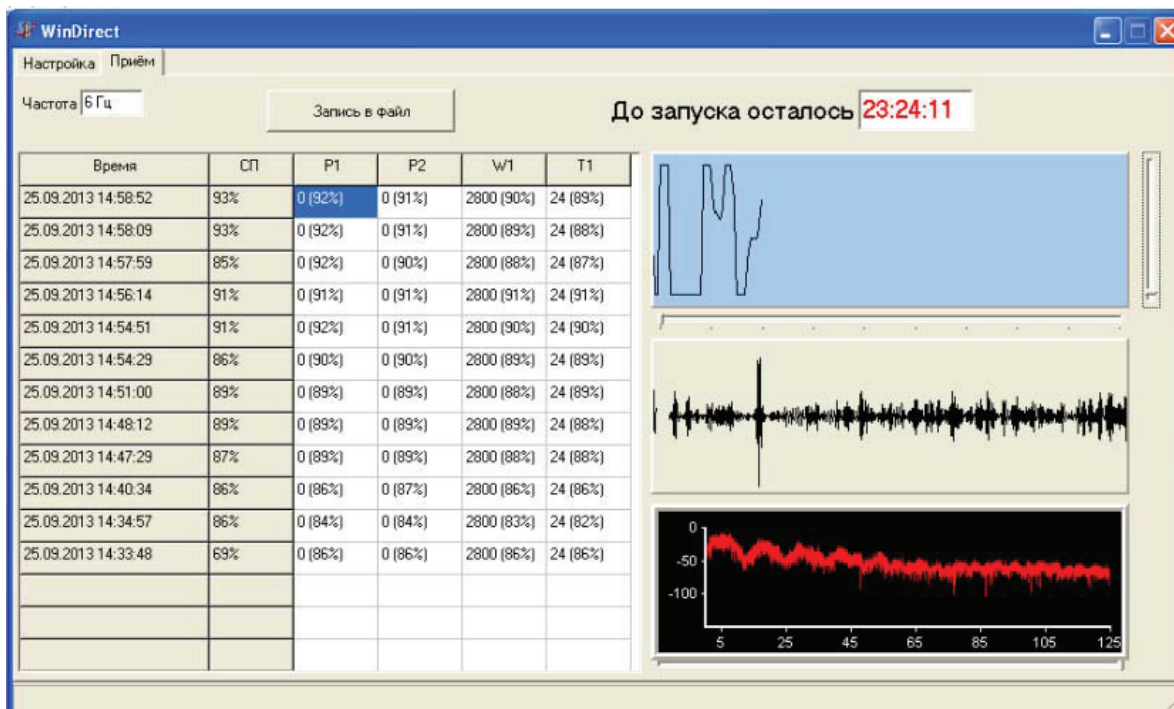


Рис. 2. Внешний вид окна сеанса связи с записью данных телеметрии в WinDirect: P1 и P2 – забойное и пластовое давления; W1 – дебит; T1 – температура пласта

Fig. 2. Appearance of the session window with recording telemetry data in WinDirect: P1 and P2 are the downhole and reservoir pressures; W1 is the flow rate; T1 is the temperature of the reservoir

меньше произведений любых  $d_{\min}-1$  оснований заданной СОК, или  $R \geq (m_1 \times m_2 \times \dots \times m_{q_i})$ , где  $q_i=1, 2, \dots, n$ .

Основания СОК  $m_1, m_2, \dots, m_n$  являются информационными, а основания  $m_{n+2}, \dots, m_{n+k}$  – контрольными.

Если СОК упорядочена, то  $d_{\min}=k+1$ , а если система расширяется путем добавления  $k$  оснований и каждое основание больше любого информационного основания, то минимальное расстояние кода автоматически увеличивается на величину  $k$ . Увеличить  $d_{\min}$  можно также за счет уменьшения числа информационных оснований, т. е. переходя к вычислениям с меньшей точностью. Таким образом, между корректирующими возможностями  $R$ -кодов и точностью вычислений существует обратная пропорциональная зависимость. Это значит, что один и тот же процессор может выполнять цифровую обработку телеметрических сигналов с высокой точностью, но невысокой надежностью, или с меньшей точностью, но с более высокой надежностью и большей скоростью.

Для обнаружения ошибок диапазон СОК  $M=[m_1, m_2, \dots, m_n]$  расширяется за счет введения взаимно простого с другими модулями основания  $m_{n+1} > m_n$ . Тогда полный диапазон СОК определяется как  $M = M \times m_{n+1}$ .

Определение неправильного числа базируется на факте упорядоченности СОК: т. е. если система  $A=(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_{n+1})$  упорядочена правильно, то число  $\tilde{A}=(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \tilde{\alpha}_i=\alpha_i, \dots, \alpha_{n+1})$  является неправильным. Следовательно, для обнаружения факта искажения числа  $A=(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \dots, \alpha_{n+1})$  необходимо всего лишь сравнить его с рабочим диапазоном  $M$ . Если  $\tilde{A} \geq M$ , то число искажено, а если  $\tilde{A} < M$ , то либо ошибки нет, либо она носит более сложный характер.

Для исправления ошибки необходимо ввести еще одно контрольное основание  $m_{n+2} > m_{n+1}$ . Естественно, что полный диапазон СОК изменится:  $M_2 = M_1 \times m_{n+2}$ . Затем вычисляются проекции числа  $\tilde{A}=(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \alpha_{n+1}, \dots, \alpha_{n+2})$  по всем основаниям СОК:

$$\tilde{A}_1=(\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n, \alpha_{n+1}, \alpha_{n+2});$$

$$\tilde{A}_2=(\alpha_1, \alpha_3, \dots, \alpha_n, \alpha_{n+1}, \alpha_{n+2});$$

$$\tilde{A}_{n+1}=(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \alpha_{n+2}); \dots$$

$$\tilde{A}_{n+2}=(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \alpha_{n+1}).$$

Полученные проекции  $\tilde{A}_i=(1 \dots n+2)$  сравниваются с рабочим диапазоном  $M$ . Определяя проекцию числа, для которой  $\tilde{A}_i < M$ , исправляется ошибочный остаток:

$$\alpha_i = \tilde{\alpha}_i + [(m_i(1+j \times m_{n+1})) / (m_{n+1} \times \beta_i) - \tilde{A}_i / B_i],$$

где  $B_i = \beta_i \times M / m_i$  – ортогональный базис СОК;  $j=0, 1, 2, \dots, n$ ;  $\beta_i$  – вес ортогонального базиса.

Кроме вышеизложенного следует отметить, что исследуемый  $R$ -код обладает свойством арифметичности. Это свойство, при котором введенные основания включены в общую систему оснований СОК, где коды, содержащие цифры по всем, как основным, так и контрольным, разрядам, участвуют в любой операции обработки телеметрической

информации. Кроме того, обработка основных и дополнительных цифр производится одинаково. Значит, обработка информации в СОК производится поэтапно без контроля каждого отдельного кода. Длину этапа можно определить в каждом отдельном случае либо по законченному циклу обработки всего массива телеметрической информации, либо в соответствии с вероятностью возникновения одиночной ошибки. Конечный результат каждого вычислительного этапа может быть подвергнут контролю, и его правильность подтверждает правильность проведения всех операций данного этапа.

Вообще, введение хотя бы одного контрольного основания позволяет обнаружить не только любую одиночную ошибку, но и большую часть двойных ошибок [3–8].

Данный аспект является существенным для выбора в качестве способа кодирования скважинной телеметрической информации непозиционной системы остаточных классов. Реализация кодирования потребует включения в схему цифровой обработки сигналов прямого и обратного преобразователей, которые существенно не повлияют на снижение скоростных характеристик процессора СОК. В случае организации табличных вычислений, немодульные процедуры прямого и обратного преобразования реализуются всего за один вычислительный такт. Для тех случаев, когда диапазон системы остаточных классов слишком велик и табличная реализация затруднена, в [3, 6, 7] предложено множество высокоскоростных решений синтеза указанных преобразователей.

Сравнительные результаты обработки телеметрической информации в СОК и ПСС проведены в условиях испытательной скважины ПАО НПП «ВНИИ-ГИС» при сопоставимом объеме данных, равной глубине погружения, одинаковом воздействии помех. Исследования показали, что в случае устойчивого приема сигнала достоверность информации, кодированной СОК, выше достоверности аналогичной информации в ПСС в среднем на 56 %. Хотя повышение скорости цифровой обработки за счет кодов СОК не ставилось в приоритеты исследований, результаты неоднократно доказывали ее увеличение минимум на порядок, по сравнению с кодами в ПСС.

Следовательно, путем обнаружения и исправления ошибок, возникающих при цифровой обработке, с помощью СОК можно значительно повысить достоверность приема телеметрической информации и тем самым качественно провести гидродинамическое исследование нефтяной скважины, оборудованной штанговым глубинным насосом.

Полученные результаты позволили авторам сосредоточиться на решении проблемы обеспечения устойчивого приема телеметрической информации в электромагнитном канале связи от автономных погружных скважинных модулей, способных функционировать в течение межремонтного периода скважин на глубинах, сильно превышающих 1000 м.

## Заключение

Авторы считают, что решение проблемы обеспечения достоверности телеметрической скважинной информации, передаваемой по беспроводному каналу связи с кодированием в системе остаточных классов, позволит нефтяным компаниям расширить область применения разработанных способов коррекции в других каналах связи и системах цифровой обработки данных и тем самым:

1) увеличить добычу нефти благодаря автоматическому поддержанию эффективного динамического уровня с контролем наполнения

насоса и минимизацией времени простоя скважины;

2) снизить затраты на ремонт скважин за счет оптимального режима эксплуатации оборудования и своевременной диагностики возможных отклонений в его работе;

3) уменьшить общие затраты (сумму капитальных вложений и операционных затрат) как минимум на 6–8 % [10–20].

*Авторы благодарят И.Г. Арсланова за внимательную проработку статьи и замечания, способствующие улучшению понимания и аргументации выводов.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ передачи забойной информации: пат. Рос. Федерация № 2426878; заявл. 02.02.10; опубл. 20.08.11, Бюл. № 23. – 4 с.
2. О возможностях применения погружной телеметрии при эксплуатации скважинных штанговых насосов / С.Б. Якимов, А.А. Клусов, Л.И. Хузин, Е.Г. Ветохин, А.Ю. Кононов // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». – 2015. – № 2. – С. 65–71.
3. Применение искусственных нейронных сетей и системы остаточных классов в криптографии / Н.И. Червяков, А.А. Евдокимов, А.И. Галушкин, И.Н. Лавриненко, А.В. Лавриненко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 280 с.
4. Шакиров А.А., Тынчеров К.Т., Горюнова М.В. Развитие геофизического комплекса гидродинамических исследований коллекторов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. – 2013. – № 6. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/ShakirovAA/ShakirovAA\\_2.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/ShakirovAA/ShakirovAA_2.pdf) (дата обращения 7.09.2017).
5. Шакиров А.А. Автономный скважинный измерительный комплекс // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2014: Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. – С. 290–294.
6. Use of modular coding for high-speed digital filter design / N.I. Chervyakov, A.V. Veligosha, K.T. Tyncherov, S.A. Velikikh // Cybernetics and Systems Analysis. – 1988. – № 2. – P. 1–10.
7. Chervyakov N.I., Tyncherov K.T., Veligosha A.V. High-speed digital signal processing with using non-positional arithmetic // Radiotekhnika. – 1997. – № 10. – P. 23–28.
8. Тынчеров К.Т. О целесообразности реализации нейросетевых вычислений в базе непозиционной системы счисления в вычетах // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2011. – № 2. – С. 34–37.
9. Тынчеров К.Т. Оценка надежности модулярного нейропроцессора АСУТП // Вестник Московского авиационного института. – 2011. – Т. 18. – № 3. – С. 219–221.
10. Разработка новой телесистемы для передачи данных по радиоканалу в процессе бурения скважин / О.В. Стукач, А.Б. Мирманов, А.С. Гопоненко, В.А. Кочумеев // Вестник науки Сибири. – 2014. – № 1 (11). – С. 76–83. URL: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/895/621> (дата обращения: 20.10.2017).
11. Deployment of down hole gauges in sucker rod pump applications – New step in optimization / R.B. Quttainah, F. Mehmood, A.Ch. Dange Bhat, T. Sierra // SPE International Heavy Oil Conference and Exhibition. – Mangaf, 2014. – URL: <https://doi.org/10.2118/172845-MS> (date of access: 08.09.2017).
12. Якимов С.Б. Состояния и перспективы использования технологий эксплуатации малодебитных скважин в ОАО «НК «Роснефть» // Инженерная практика. – 2014. – № 11. – С. 4–12.
13. Ковшов В.Д., Латыпов А.Ф., Светлакова С.В. Обзор современных станций управления СПН отечественного производства // Инженерная практика. – 2011. – № 10. – С. 68–72.
14. Локтев А.В., Косилов Д.А., Болгов И.Д. Испытание станций управления с преобразователем частоты Danfoss для УСПН // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2012. – № 3. – С. 96–99.
15. Rapid simulation of electromagnetic telemetry using an axisymmetric semianalytical finite element method / Jiefu Chen, Shubin Zeng, Qiuzhao Dong, Yueqin Huang // Journal of Applied Geophysics. – February 2017. – V. 137. – P. 49–54.
16. Мирманов А.Б., Стукач О.В., Гопоненко А.С. MATLAB-моделирование передачи данных в забойной телеметрической системе с радиоканалом MATLAB // Динамика систем, механизмов и машин. – 2014. – № 4. – С. 36–38.
17. Stukach O.V., Mirmanov A.B. 9 GHz power amplifier-transmitter on Gunn diode for measurement-while-drilling system // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics: Proc. – Omsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2014. – P. 7005695.
18. Incomplete Bessel polynomials: a new class of special polynomials for electromagnetics / D. Caratelli, O. Stukach, G. Babur, A. Shibelgut // Progress in electromagnetics research M. – 2015. – V. 41. – P. 85–93.
19. Experimental investigations of microwave signal attenuation in radio link within geophysical information transmission / A.S. Goponenko, O.V. Stukach, V.A. Kochumeev, A.B. Mirmanov // 20<sup>th</sup> International Conference for Students and Young Scientists: Modern Techniques and Technologies. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2014. – P. 012008.
20. A completion staging case study in the Barnett Shale using advanced LWD quadrupole sonic and borehole imaging / J. Spaid, J. Dahl, S. Gutierrez, G. Carrilero, E. Shearer, D. Buller // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – July 2016. – V. 33. – P. 1190–1200.

*Поступила 03.11.2017 г.*

#### **Информация об авторах**

**Тынчеров К.Т.**, доктор технических наук, заведующий кафедрой информационных технологий, математики и естественных наук филиала Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Октябрьском.

**Червяков Н.И.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и математического моделирования Северо-Кавказского федерального университета.

**Селиванова М.В.**, магистрант Казанского Федерального университета; техник отдела информационных технологий филиала Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Октябрьском.

**Калмыков И.А.**, доктор технических наук, профессор, кафедры информационной безопасности автоматизированных систем Северо-Кавказского федерального университета.

UDC 550.832.9: 004.272

## METHOD OF INCREASING THE RELIABILITY OF TELEMETRIC WELL INFORMATION TRANSMITTED BY THE WIRELESS COMMUNICATION CHANNEL

**Kamil T. Tyncherov**<sup>1</sup>,  
academic-mvd@mail.ru

**Nikolay I. Chervyakov**<sup>2</sup>,  
k-fmf-primath@stavs.ru

**Maria V. Selivanova**<sup>1,3</sup>,  
selivanovamara@gmail.com

**Igor A. Kalmykov**<sup>2</sup>,  
kia762@yandex.ru

<sup>1</sup> Ufa State Petroleum Technological University,  
54A, Devonskaya street, Oktyabrsky, 452600, Russia.

<sup>2</sup> North-Caucasian University,  
1, Pushkin street, Stavropol, 355009, Russia.

<sup>3</sup> Kazan Federal University,  
18, Kremlevskaya street, Kazan, 420008, Russia

**The relevance** of the research is caused by the need to obtain reliable information about the state of oil wells equipped with sucker rod pumps. As a rule, telemetric devices are lowered into wells on a special logging cable, which provides power, control and transmission to the surface of the information about the relevant parameters of the operating mode of the wells and the surrounding rocks where data are recorded and processed. In the wells equipped with sucker rod pumps the packer insulating equipment is used that prevents the cable telemetry systems, so the information has to be transferred over wireless communication channels. It is the known fact that with increasing depth of productive oil reservoir the reliability electromagnetic channel is reduced. As a solution to the problem of providing oil companies with reliable information on the status of the well, there are different approaches: variation between the power transmitter and the frequency of reception-transmission (low to low), provision of independent power supply with long operating life (e.g., batteries Tadiran lithium cells SL2790 T (DD)), etc. And what to do if solenoid channel is relatively stable, and the information on the reception is still distorted? In this case, one should get the increase of reliability of the received information. One approach is the use of error-correcting coding of information, where the codes non-positional arithmetic in residual classes are applied instead of traditional coding in a positional number system. This article proves that the system of residual classes has better correction capabilities and is able not only to detect errors but to correct them.

**The main aim** of the research is to increase the reliability of the information transmitted via the wireless communication channel by detecting and correcting errors in the system of redundant coding of signals.

**Objects:** fault-tolerant computing structures of digital signal processing of wireless telemetry systems, functioning in the basis of algorithms of modular arithmetic.

**Methods** are based on the use of the mathematical modeling methods, the mathematical apparatus of number theory, coding theory with the estimation of the reliability of surface information obtained on the surface based on comparison of calculated and actual parameters of temperature, pressure, water content in the mixture and production rate.

**Results.** By detecting and correcting errors that occur during the reception and transmission of telemetric information, a significant increase in the reliability of the reception is achieved, which ultimately allows a more qualitative conduct of a hydrodynamic study of an oil well equipped with a sucker-rod deep-well pump.

### Key words:

Oil wells, wireless electromagnetic channel, telemetry information, coding, residual class system, corrective abilities, error detection and correction.

*The authors appreciate I.G. Arslanov for detailed paper study and commentaries contributing to better comprehension and reasoning of conclusions.*

### REFERENCES

1. Dmitryukov, A.Yu., Ismagilov, R.M., Valeev, D.G. *Sposob peregacha zaboynoy informatsii* [A method of transmitting downhole information]. Patent RF, no. 2426878, 2011. In Rus.
2. Yakimov S.B., Klusov A.A., Khuzin L.I., Vetohin E.G., Kononov A.Yu. On the possibilities of using submersible telemetry during operation of downhole rod pumps. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik OAO «NK «ROSNEFT»*, 2015, no. 2, pp. 65–71. In Rus.
3. Chervyakov N.I., Evdokimov A.A., Galushkin A.I., Lavrinenko I.N., Lavrinenko A.V. *Primenenie iskusstvennykh neyronnykh setey i sistemy ostatochnykh klassov v kriptografii* [Application of artificial neural networks and the system of residual classes in cryptography]. Moscow, Fizmatlit, Publ., 2012. 280 p.
4. Shakirov A.A., Tyncherov K.T., Goryunova M.V. The development of complex hydrodynamic, geophysical studies of the reservoirs. *The electronic scientific journal «Oil and Gas Business»*,

- 2013, no. 6. In Rus. Available at: [http://www.ogbus.ru/authors/ShakirovAA/ShakirovAA\\_2.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/ShakirovAA/ShakirovAA_2.pdf) (accessed 7 September 2017).
5. Shakirov A.A. Avtonomny skvazhinny izmeritelny kompleks [Downhole Autonomous measuring system]. *Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele – 2014. Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Modern technology in the oil and gas business – 2014. Proc. of the international scientific and technical conference]. Ufa, UGNTU Publ., 2014. pp. 290–294.
  6. Chervyakov N.I., Veligosh A.V., Tyncherov K.T., Velikikh, S.A. Use of modular coding for high-speed digital filter design. *Cybernetics and Systems Analysis*, 1988, no. 2, pp. 1–10.
  7. Chervyakov N.I., Tyncherov K.T., Veligosh A.V. High-speed digital signal processing with using non-positional arithmetic. *Radiotekhnika*, 1997, no. 10, pp. 23–28.
  8. Tyncherov K.T. On the feasibility of neural network computations in the basis of non-positional number system to the deductions. *Automation, telemechanization and communication in oil industry*, 2011, no. 2, pp. 34–37. In Rus.
  9. Tyncherov K.T. Evaluation of the reliability of modular neuroprocessor process control system. *Vestnik of the Moscow Aviation Institute*, 2011, vol. 18, no. 3, pp. 219–221. In Rus.
  10. Stukach O.V., Mirmanov A.B., Goponenko A.S., Kochumeev V.A. The development of new TeleSystems for transmission of data over the air in the process of drilling. *Siberian journal of science*, 2014, no. 1 (11), pp. 76–83. In Rus. Available at: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/895/621> (accessed 20 October 2017).
  11. Quttainah R.B., Mehmood F., Dange Bhat A.Ch., Sierra T. Deployment of down hole gauges in sucker rod pump applications – New step in optimization. *SPE International Heavy Oil Conference and Exhibition*. Mangaf, Society of Petroleum Engineers Publ., 2014. Available at: <https://doi.org/10.2118/172845-MS> (accessed 8 September 2017).
  12. Yakimov S.B. Status and prospects of technologies of operation of marginal wells in OAO «NK «Rosneft»». *Engineering practice*, 2014, no. 11, pp. 4–12. In Rus.
  13. Kovshov V.D., Latypov A.F., Svetlakova S.V. The Review of modern control stations SSN domestic production. *Engineering practice*, 2011, no. 10, pp. 68–72. In Rus.
  14. Loktev A.V., Kosilov D.A., Bolgov I.D. A Test of control stations with frequency Converter Danfoss for OSSN. *Equipment and technologies for oil and gas industry*, 2012, no. 3, pp. 96–99. In Rus.
  15. Jiefu Chen, Shubin Zeng, Qiuzhao Dong, Yueqin Huang. Rapid simulation of electromagnetic telemetry using an axisymmetric semi-analytical finite element method. *Journal of Applied Geophysics*, February 2017, vol. 137, pp. 49–54.
  16. Mirmanov A.B., Stukach O.V., Goponenko, A.S. MATLAB simulation of data transmission in downhole telemetry system with radio channel in MATLAB. *Dynamics of systems, mechanisms and machines*, 2014, no. 4, pp. 36–38. In Rus.
  17. Stukach O.V., Mirmanov A.B. 9 GHZ power amplifier-transmitter on Gunn diode for measurement-while-drilling system. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics: Proc.* Omsk, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2014. pp. 1–4. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005695
  18. Caratelli D., Stukach O., Babur G., Shibelgut A. Incomplete Bessel polynomials: a new class of special polynomials for electromagnetics. *Progress in electromagnetics research M*, 2015, vol. 41, pp. 85–93.
  19. Goponenko A.S., Stukach O.V., Kochumeev V.A., Mirmanov A.B. Experimental investigations of microwave signal attenuation in radio link within geophysical information transmission. *20<sup>th</sup> International Conference for Students and Young Scientists: Modern Techniques and Technologies*. Tomsk, Institute of Physics Publishing, 2014. pp. 012008.
  20. Spaid J., Dahl J., Gutierrez S., Carrilero G., Shearer E., Buller D. A completion staging case study in the Barnett Shale using advanced LWD quadrupole sonic and borehole imaging. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, July 2016, vol. 33, pp. 1190–1200.

Received: 3 November 2017.

#### Information about the authors

**Kamil T. Tyncherov**, Dr. Sc., Ufa State Petroleum Technological University.

**Nikolay I. Chervyakov**, Dr. Sc., professor, North-Caucasian University.

**Maria V. Selivanova**, graduate student, Kazan Federal University; assistant engineer, Ufa State Petroleum Technological University.

**Igor A. Kalmykov**, Dr. Sc., professor, North-Caucasian University.