

УДК 622.24: 621.398

ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ БУРОВОГО РАСТВОРА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАНАЛА СВЯЗИ ЗАБОЙНОЙ ТЕЛЕСИСТЕМЫ

Старцев А.Э.¹, Ягубов З.Х.

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

¹ e-mail: andstar_aes@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы влияния удельной электропроводности буровых растворов на энергетические характеристики забойной телесистемы с электромагнитным каналом связи. На основе экспериментальных данных предложены рекомендации по выбору буровых растворов, обеспечивающих необходимый уровень принимаемого на поверхности сигнала.

Ключевые слова: буровая телесистема, электромагнитный канал связи, антенна, буровой раствор, затухание

В настоящее время разработан перспективный метод снижения энергозатрат в процессе бурения, заключающийся в нанесении на бурильные и обсадные трубы покрытий, уменьшающих гидравлические сопротивления труб, а также, увеличивающих срок их службы. В частности, Российским научно-исследовательским институтом трубной промышленности предложена методика нанесения эпоксидных покрытий толщиной 200 мкм, как на наружную, так и на внутреннюю поверхность труб. Наиболее применимый, на сегодняшний день, материал подобных покрытий – это различные эпоксидные композиции. При использовании подобных труб потери на трение снижаются на 10-15 % [1]. Наличие диэлектрического покрытия делает их наиболее пригодными при организации электромагнитного канала связи по бурильной колонне [2, 3].

Параметры бурильной колонны, как электромагнитного канала связи, представляющего собой «длинную линию» с распределенными параметрами [4], зависят от многих факторов (диаметра бурильной трубы, толщины и электропроводности поверхностного слоя трубы, проводимости бурового раствора). Для анализа частотных характеристик исследуемого объекта применялась следующая методика:

– производилось «центрирование» эксплуатационных и конструктивных параметров канала связи, т.е. определялись средние значения варьируемых параметров;

– анализировались частотные характеристики при изменении одного из параметров, сохраняя остальные параметры постоянными и равными их средним значениям.

При этом линия передачи сигнала рассматривается как физический объект, представляющий собой конструкцию из двух коаксиальных соосных проводящих цилиндров, разделенных слоем диэлектрика, где в качестве внутреннего цилиндра рассматривалась бурильная труба, а в качестве наружного цилиндра – буровой раствор в затрубном пространстве (рис. 1).

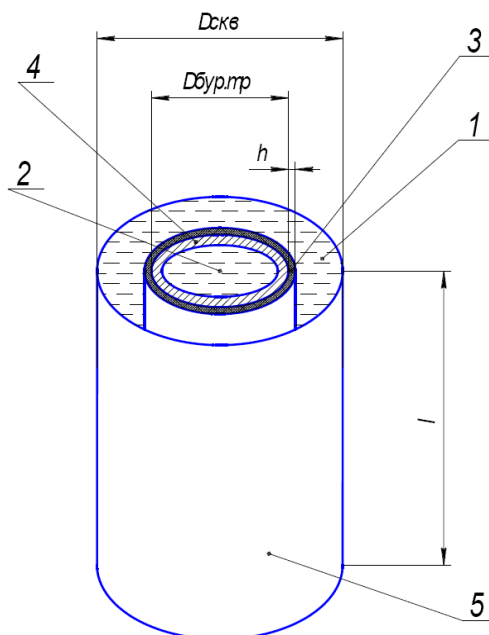


Рис. 1. Поперечный разрез буровой колонны:

- 1 – буровой раствор в затрубном пространстве;
- 2 – буровой раствор в бурильной трубе;
- 3 – поверхностный слой бурильной трубы;
- 4 – бурильная труба; 5 – стенка скважины

Продольная индуктивность одного километра канала передачи информации, представленного в виде длинной линии, при использовании немагнитных труб определяется по формуле [4]

$$L_0 = \frac{1}{2} \mu_0 \ln \left(\frac{D_{\text{БВР.ТР}} + h}{D_{\text{БВР.ТР}}} \right) \cdot 1000, \quad (1)$$

где $D_{\text{БВР.ТР}}$ – наружный диаметр бурильной трубы, м;

h – толщина защитного покрытия бурильной трубы, м;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (Н} \cdot \text{А}^{-2})$ – магнитная постоянная.

Погонная емкость одного километра канала передачи информации, представленного в виде длинной линии [4]

$$C_0 = \frac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\ln \left(\frac{D_{\text{БВР.ТР}} + h}{D_{\text{БВР.ТР}}} \right)} \cdot 1000 \text{ (Ф / км)}, \quad (2)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость материала защитного покрытия бурильной трубы;

$\varepsilon_0 = 8,854187817620 \cdot 10^{-12} (\Phi \cdot \text{м}^{-1})$ – электрическая постоянная.

Активное сопротивление одного километра бурильной трубы в схеме замещения канала передачи информации, представленного в виде длинной линии [4]:

$$R_{01} = \frac{\rho_{\text{БВР.ТР}}}{\frac{\pi}{4} (D_{\text{БВР.ТР}}^2 - (D_{\text{БВР.ТР}} - H)^2)} \cdot 1000 (\text{Ом} / \text{км}), \quad (3)$$

где H – толщина стенки бурильной трубы;

$\rho_{\text{БВР.ТР}}$ – удельное сопротивление материала бурильной трубы, Ом · м.

Активное сопротивление одного километра бурового раствора в затрубном пространстве в схеме замещения канала передачи информации, представленного в виде длинной линии [4]:

$$R_{02} = \frac{\rho_{\text{БВР.РАСТ}}}{\frac{\pi}{4} (D_{\text{СКВ}}^2 - (D_{\text{БВР.ТР}} + h)^2)} \cdot 1000 (\text{Ом} / \text{км}), \quad (4)$$

где $D_{\text{СКВ}}$ – диаметр скважины, м;

Проводимость утечки через защитное покрытие бурильной трубы на одном километре бурильной колонны [4]

$$G_0 = \frac{\pi D_{\text{БВР.ТР}}}{\rho_{\text{П}} h} \cdot 1000 (\text{См} / \text{км}), \quad (5)$$

где $\rho_{\text{П}}$ – удельное сопротивление защитного покрытия бурильной трубы, Ом · м

Амплитудная частотная характеристика одного километра канала передачи информации, представленного в виде длинной линии при отсутствии отраженных волн, рассчитывается по формулам [4]:

$$A(\omega) = e^{\gamma(\omega)}, \quad (6)$$

где $\gamma(\omega) = \sqrt{[(R_{01} + R_{02}) + j\omega L_0] \cdot [(G_0) + j\omega(C_0)]} = \alpha(\omega) + j\beta(\omega)$ – постоянная распространения линии;

$\alpha(\omega)$ – коэффициент затухания волны на единицу длины линии в функции угловой частоты;

$\beta(\omega)$ – коэффициент фазы, представляющий собой изменение фазы волны на единицу длины линии.

Предварительные расчёты, выполненные на основе формул (1) - (6) по представленной выше методике позволяют сделать следующие выводы:

1. Коэффициент затухания сигнала в канале передачи информации в широком диапазоне частот определяется главным образом удельным сопротивлением бурового раствора и величиной токов утечки через поверхностный слой бурильной трубы.

2. На частотах выше 100 Гц затухание, вносимое каналом передачи информации, становится значительным (до 450 дБ/км), что делает невозможной передачу достоверной информации на поверхность.

Пример результатов расчета затухания, вносимого одним километром канала передачи информации по бурильной колонне, на основе математической модели канала передачи информации для различных удельных сопротивлений бурового раствора представлен на рис. 2.

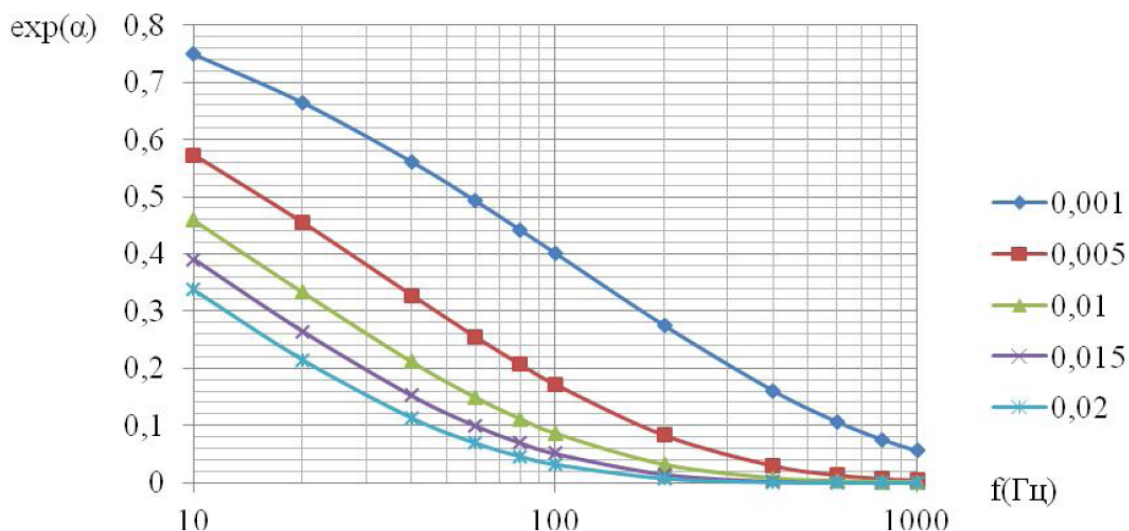


Рис. 2. Амплитудная частотная характеристика одного километра канала передачи информации для различных значений проводимости бурового раствора

Удельное сопротивление бурового раствора определяется как химическим составом бурового раствора, так и массовой долей присутствующей в нем твердой взвеси, состоящей из частиц разбуренной породы и продуктов износа долота.

Для определения удельной электропроводности типовых буровых растворов с целью выработки рекомендаций по их использованию в электромагнитном канале канала связи по колонне бурильных труб и буровому раствору в затрубном пространстве была проведена серия экспериментов. Измерение сопротивления осуществлялось мостовым методом с использованием четырехплечего моста (моста Уитсона) в диапазоне частот 10 - 1000 Гц.

Схема установки представлена на рис. 3. Уравновешивание моста осуществлялось подбором сопротивления, компенсация емкостной составляющей тока через измерительную емкость осуществлялась подбором емкости конденсатора. Получение равновесного состояния моста контролировалось цифровым вольтметром в измерительной диагонали. Источником питания измерительного моста служил генератор синусоидального напряжения.

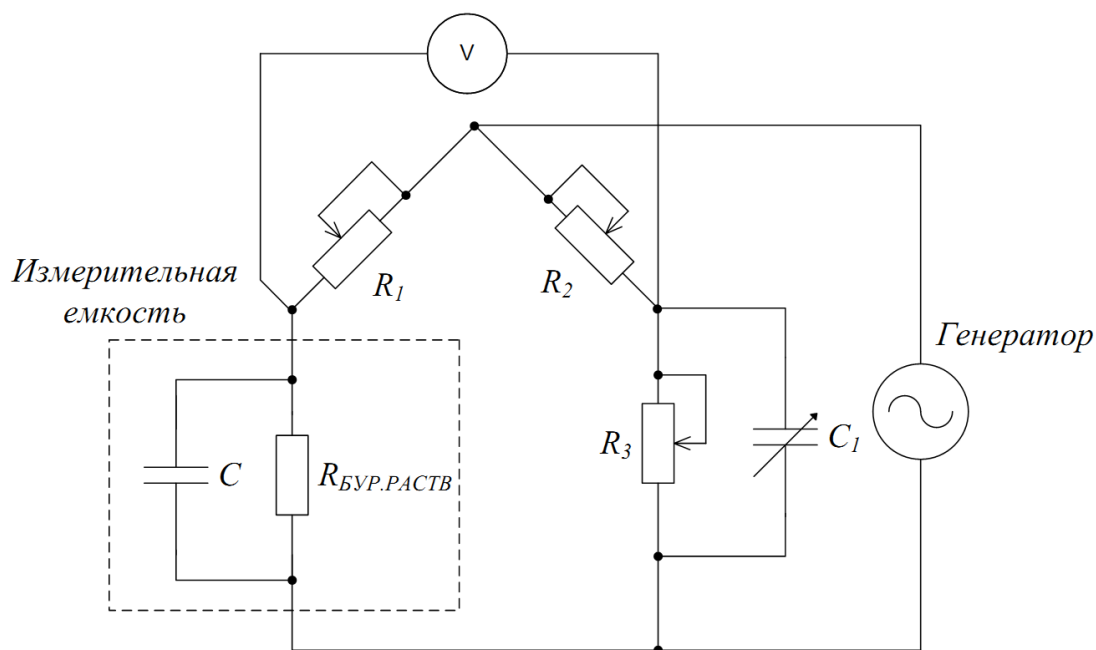


Рис. 3. Принципиальная схема установки для исследования удельной электропроводности бурового раствора

Выбор частотного диапазона обусловлен следующими соображениями:

- использование канала передачи информации на частотах менее 10 Гц делает его сопоставимым по пропускной способности с уже существующими, например, гидравлическим;

- на частотах свыше 1 кГц, согласно предварительным расчетам, затухание в канале становится значительным, что мешает его практическому использованию для передачи информации на поверхность даже с глубин менее 1 км.

Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 4.

Анализируя вид полученных зависимостей, можно сделать следующие выводы:

- удельное сопротивление раствора определяется преимущественно массовой долей солей в растворе, наличие органических и других высокомолекулярных добавок в применяемых концентрациях практически не сказывается на электропроводности;

- удельную электропроводность в исследуемом частотном диапазоне можно считать постоянной для каждого вида раствора;

- увеличение удельного электрического сопротивления буровых растворов на низких частотах объясняется высокой интенсивностью окислительно-восстановительных реакций, уменьшающей концентрацию ионов вблизи электродов.

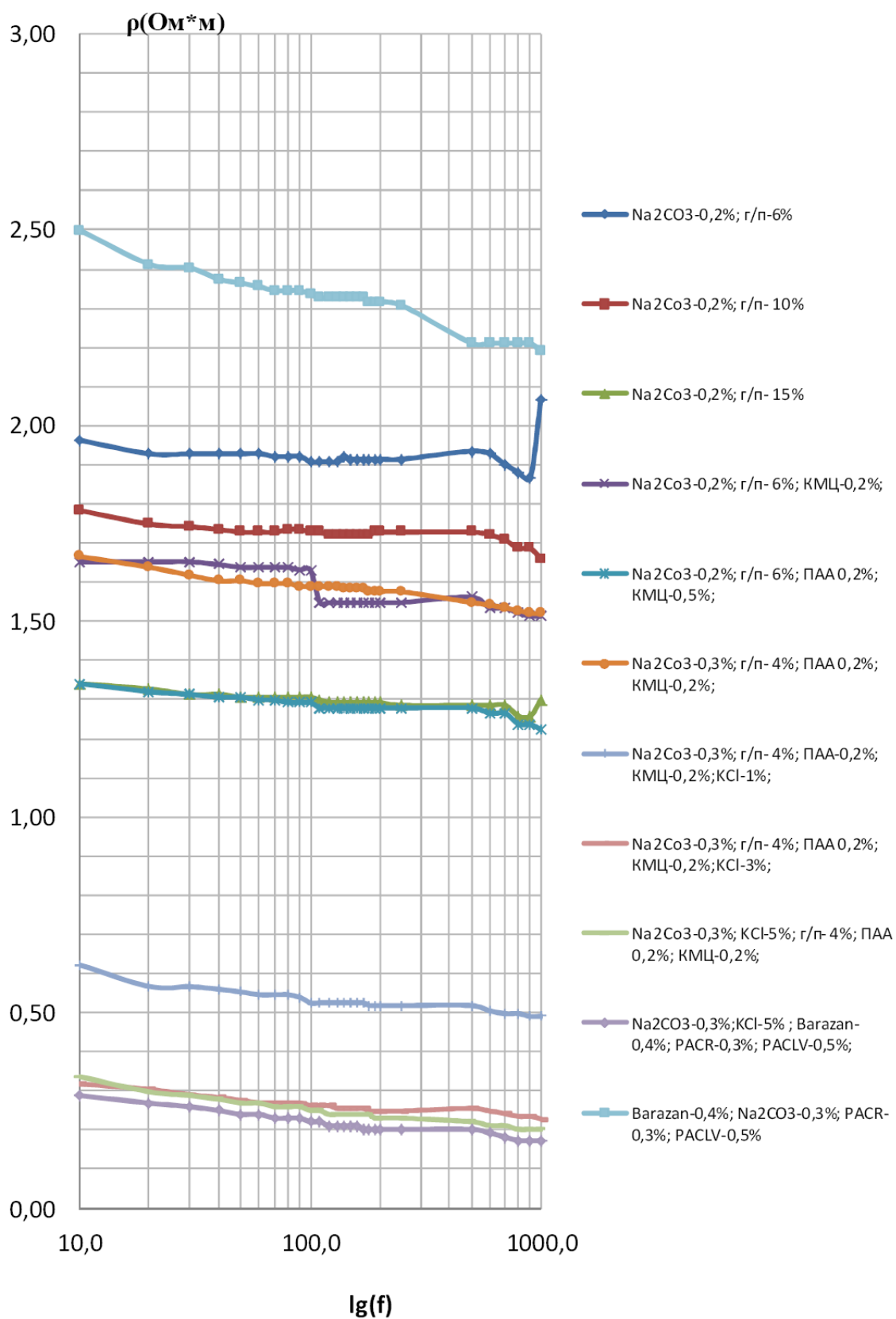


Рис. 4. Удельное сопротивление буровых растворов в функции частоты

На основе полученных обобщений можно выработать рекомендации о возможности применения стандартных буровых растворов, с точки зрения обеспечения достаточного уровня принимаемого на поверхности сигнала, в забойных телеметрических системах, осуществляющих передачу информации по замкнутому витку из колонны буровых труб и промывочной жидкости в затрубном пространстве:

1. Исходя из требуемой глубины бурения и предполагаемых технологических параметров скважины по формулам (1) - (6) определяется вносимое каналом связи затухание на различных частотах из диапазона 10-120 Гц для бурового раствора с известной удельной электропроводностью.

2. При увеличении глубины бурения, с которой необходима передача сигнала забойной телеметрии, корректируется химический состав бурового раствора с целью увеличения его удельной электропроводности. Для этого увеличивают массовую долю реагентов, повышающих концентрацию ионов в растворе (Na_2CO_3 , KCl), либо реагентов, образующих токопроводящую взвесь или слой на стенках скважины и применяемых для улучшения смазочных свойств бурового раствора, снижения его вязкости и статического напряжения сдвига (графит, сажа).

Литература

1. Лаборатория покрытий // Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности : [сайт].

URL: <http://www.rosniti.ru/rd-departments/2010-07-16-09-26-54/2010-07-20-08-24-27>
(дата обращения: 7.02.2011)

2. Патент 2272132 РФ. Способ передачи информации из скважины на поверхность. Заявл. 07.08.2001; опубл. 20.03.2006. Бюл. № 8. 7 с.

3. Патент 104624 РФ. Устройство для передачи информации на поверхность. Заявл. 20.07.2010; опубл. 20.05.2011. Бюл. № 14. 5 с.

4. Ягубов З.Х., Старцев А.Э. Частотные характеристики электромагнитного канала связи по буровой колонне // Сборник научных трудов: материалы научно-технической конференции (13-15 апреля 2010 г.): в 3 ч. Ч. II. Ухта: УГТУ, 2010. С. 275-278.

**INFLUENCING OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF DRILL FLUID ON
POWER PERFORMANCES OF THE ELECTROMAGNETIC INFORMATION
BEARER CHANNEL OF BOTTOM-HOLE TELESYSTEM**

A.E. Startsev¹, Z.Kh. Yagubov

Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia

¹ *e-mail: andstar_aes@mail.ru*

Abstract. *In article questions of influencing of electrical conductivity of drill fluids on power performances of bottom-hole telesystem with an electromagnetic information bearer channel are considered. On the basis of experimental data provides recommendations for choice the drill fluids providing required level of incoming signal on the surface.*

Keywords: *drilling telesystem, electromagnetic information bearer channel, the antenna, drill fluid, attenuation*

References

1. Laboratory of coatings. Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries. URL: <http://www.rosniti.ru/rd-departments/2010-07-16-09-26-54/2010-07-20-08-24-27>
2. Patent 2272132 of Russian Federation. Method for information transmission from well to surface. Appl. 07.08.2001; publ. 20.03.2006. 7 p.
3. Patent 104624 of Russian Federation. Device for transmitting information to the surface. Appl. 20.07.2010; publ. 20.05.2011. 5 p.
4. Yagubov Z.Kh., Startsev A.E. Chastotnye kharakteristiki elektromagnitnogo kanala svyazi po buril'noi kolonne (Frequency characteristics of electromagnetic communications channel by drillstring). *Sbornik nauchnykh trudov: materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Collection of scientific papers. Proceedings of scientific technical conference): in 3 parts. Part. II.* UKhta: UGTU, 2010. pp. 275-278.