



Бортасевич В.С., Воробьев А.Н., Емельянов А.В., Черменский В.Г.

ООО «НПП ЭНЕРГИЯ»

**Метрологические характеристики малогабаритного зонда
литолого-плотностного прибора ГГК-ЛП-76**

На основе данных модельных работ на полупластах и на 4 π моделях оптимизирована конструкция малогабаритного зонда литолого-плотностного прибора, получены палеточные зависимости и поправки для различных технических условий измерений.

Ключевые слова: литолого-плотностная аппаратура, метрологическое обеспечение.

До настоящего времени считалось, что зонды скважинных приборов литолого-плотностного каротажа достаточно хорошо изучены и оптимизированы [1, 2, 3, 4]. Поэтому статья в «Каротажнике» №245 «Метрологическое обеспечение плотностного и литоплотностного гамма-гамма-каротажа», в которой образцы полупластов рекомендованы только в качестве вторичных эталонов, кардинально изменила положение вещей в данном вопросе [5]. Вывод о том, что «*во всем диапазоне определения R_e , показания, полученные на образцах с 2π геометрией, отличаются, от полноразмерных образцов на $0,4 \div 0,5$ барн/электр., что превышает допустимую погрешность в $1,5 \div 2$ раза*» объяснил многие проблемы качества скважинного материала, получаемого приборами ГГК-ЛП.

Стало очевидно, что в области конструирования зондов для аппаратуры литолого-плотностного каротажа есть еще куда развиваться. С этой целью в ООО «НПП Энергия» осенью 2014 г. и в январе 2015 г. были проведены интенсивные опытно-методические работы по оптимизации зонда литолого-плотностной аппаратуры скважинного прибора ГГК-ЛП-76 (кабельный вариант) и его автономного аналога, работающего на буровом инструменте, АПГГК-ЛП-90РИ. Сам выносной зонд имеет диаметр 60 мм.

Скважинный прибор ГГК-ЛП-76 с выносным зондом регистрирует плотность потока гамма-излучения, рассеянного горной породой при ее облучении стационарным ампульным источником гамма-квантов Cs-137 активностью до 1.7Ci. Измерение метода литолого-плотностного гамма-гамма каротажа осуществляется выносным зондом с механическим прижимом без опоры корпуса на стенку скважины. Одновременно прижимной механизм обеспечивает измерение диаметра скважины. На рисунке 1. приведен внешний вид прибора.



Рисунок 1 Внешний вид прибора ГГК-ЛП-76

Технические характеристики:

- регистрируются 512 канальный спектр рассеянного гамма-излучения для определения индекса фотоэлектрического поглощения и 2 интегральных канала для определения плотности;
- диапазон определения объемной плотности от 1.3 до 3.3 г/см³;
- предел допускаемой основной относительной погрешности измерения плотности:
 - в диапазоне от 1.7 до 2.0 г/см³ не более ±1.5%;
 - в диапазоне от 2.0 до 3.0 г/см³ не более ±1.2%;
- диапазон определения индекса фотоэлектрического эффекта (Pe) (барн/электрон) от 1.3 до 7.0;
- предел допускаемой основной абсолютной систематической погрешности измерения индекса фотоэлектрического поглощения, барн/электрон, не более ±0.2 (в единицах Pe);
- диапазон измерения диаметра скважины от 90 до 350 мм;
- длина прибора, не более - 3300 мм;
- диаметр прибора, не более – 76 мм;
- общая масса прибора, не более – 85 кг;
- диапазон температуры окружающей среды рабочих условий применения от -10 до +120°С (возможно исполнение до 150°С);
- максимальное гидростатическое давление рабочих условий применения не менее 80 МПа;
- диаметр исследуемых скважин от 100 до 320 мм;
- комбинируемость – проходной;
- во внутренней памяти прибора хранятся его идентификационные данные (наименование, заводской номер, дата изготовления, версия программного обеспечения и т.д.).



Приведенные метрологические характеристики были получены в результате работ на моделях в различных метрологических центрах России: ОАО ВНИИГИС (г.Октябрьский), ООО НПФ «АМК ГОРИЗОНТ» (г.Октябрьский), ООО ТНГ-Групп (г.Бугульма), ОАО НПФ «ГЕОФИЗИКА» (г.Уфа), трест «Сургутнефтегеофизика» ОАО «Сургутнефтегаз» (г.Сургут). Пользуясь случаем, авторы выражают искреннюю признательность руководству вышеназванных предприятия и их метрологических служб. В целом было исследовано:

- 14 моделей полупластов с диапазоном плотности $1.81 \div 2.94 \text{ г/см}^3$, использовались глинистые и баритовые корки толщиной от $5 \div 20 \text{ мм}$;

- 46 полноразмерных стандартных образцов в диапазоне плотностей $2.04 \div 2.7 \text{ г/см}^3$, в диапазоне диаметров от $124 \div 295 \text{ мм}$, в диапазоне параметра индекса фотоэлектрического поглощения $1.38 \div 5.05 \text{ ед.Ре}$.

Отрабатывалось несколько геометрий зондов, первичная конфигурация которых была определена по результатам аналитических расчетов. Изменения зондовых расстояний, коллимационных углов, толщин фильтров проводилось путем установки/снятия вкладышей из вольфрама (сплав ВНЖ) и/или свинца.

Вывод авторов [5] о том, что между калибровкой в моделях с геометрией 2π и 4π есть существенная разница, полностью подтвердился. В то же время, на наш взгляд, это не связано с недостаточностью «тыльной» экранировки. В таблице 1 приведены значения измерения на модели AD0 (трест СНГФ) без свинцовой экранировки и со свинцовой экранировкой*. Видно, что экранировка практически не влияет на показания литолого-плотностного канала зонда скважинного прибора ГГК-ЛП-76. Изменения есть, но они существенно меньше, чем разница между измерениями индекса Ре в моделях полупластов и полноразмерных моделях. На рисунке 2 показана геометрия измерения с применением свинцового «домика». Энергетические окна каналов N_p и N_c взяты в диапазонах $42 \div 92 \text{ кэВ}$ и $150 \div 400 \text{ кэВ}$ соответственно. Для исключения влияния воздушных зазоров пространство между зондом прибора и моделью после предварительной герметизации заливалось водой.

Таблица 1 Значения измерения на модели AD0 (трест СНГФ) без свинцовой экранировки и со свинцовой экранировкой*

Геометрия измерений 2π	БЗ	МЗ	N_p	N_c	БЗ/МЗ	N_p/N_c
AD0, без Pb	26400	344047	27078	55794	0.077	0.485
AD0, с Pb	25567	342805	26687	55082	0.075	0.484
Разница, %	3.2	0.4	1.5	1.3	2.7	0.2

*Значения скоростей счета приведены в имп/мин, время набора единичного измерения составляет во всех случаях 2 мин. Скорости счета по каналам спектрометрического



ЭНЕРГИЯ

литолого-плотностного зонда приведены после стабилизации спектров. Мощность источника 75мг экв. Ra.



Рисунок 2 Геометрия измерения с применением свинцового «домика»

На рисунке 3 приведена сводная зависимость десятичного логарифма отношения скоростей счетов на большом и малом зондах, нормированная на отношение скоростей счетов по большому и малому зондам на модели AD0 ($\text{Lg}[(\text{БЗ}/\text{МЗ}) * (\text{МЗ}_{\text{AD0}}/\text{БЗ}_{\text{AD0}})]$). Как видно, результаты измерений во всех полноразмерных моделях с геометрией 4л в диаметре 216 мм хорошо совпадают с результатами измерений на полупластах в 2л геометрии. Коэффициент чувствительности зонда 1.62 превосходит аналогичный параметр наиболее широко применяемых в России приборов.

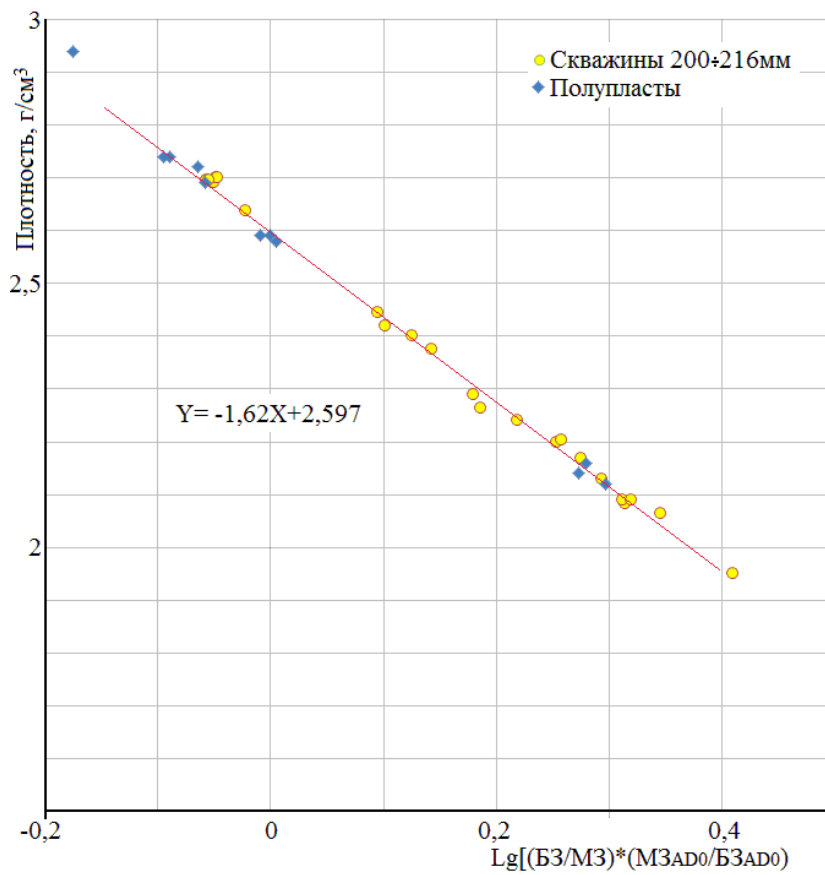


Рисунок 3 Сводная зависимость десятичного логарифма отношения скоростей счетов на большом и малом зондах

На рисунке 4 показана зависимость параметра $Lg[(БЗ/МЗ)*(МЗ_{АДО}/БЗ_{АДО})]$ от плотности исследуемых моделей. Хорошо прослеживается зависимость показаний отношения зондов от диаметра модели.

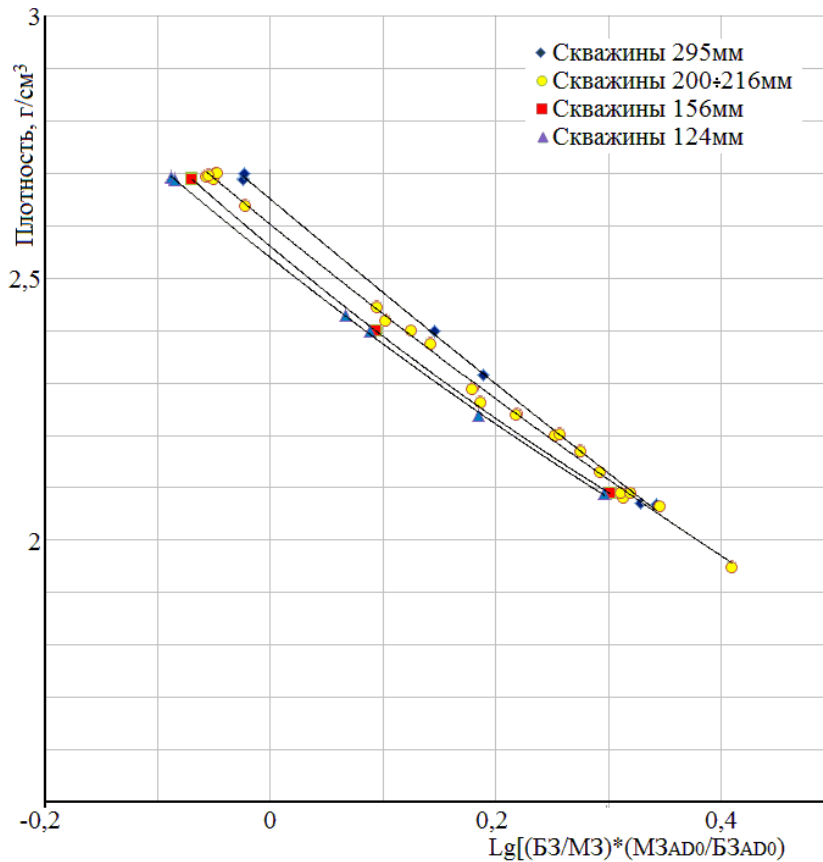


Рисунок 4 Зависимость параметра $Lg[(БЗ/МЗ)*(МЗ_{АДО}/БЗ_{АДО})]$ от плотности исследуемых моделей

В диапазоне изменения скважин от 124мм до 295 мм поправка за диаметр на измеренное значение плотности составляет порядка 0.1 г/см^3 . Учитывая диаметр зонда, равный 60 мм, это небольшая поправка, позволяющая проводить измерения в скважинах с требуемой точностью в $0.02 \div 0.03 \text{ г/см}^3$ по палетке номинального диаметра. В скважинном приборе ГТК-ЛП-76 на прижимном рычаге зондового устройства размещен датчик раскрытия прижимной лапы. После соответствующей калибровки прибор позволяет регистрировать диаметр исследуемой скважины для введения соответствующих поправок.

Выявление наличия зависимости от диаметра исследуемой скважины удалось установить, выполнив большой объем работы на полупластах и полноразмерных моделях. Работа на ограниченном количестве моделей может привести к заблуждению об отсутствии данной зависимости. Как показывает рисунок 3, результаты калибровки на полупластах и в полноразмерных моделях диаметром 216 мм практически совпадают. Очевидно, для зондов скважинных приборов, показания которых на моделях полупластов изменяются при отсутствии/наличии свинцового «домика», а это практически подавляющее большинство всех современных приборов, такая зависимость существует, только ее надо выявить.

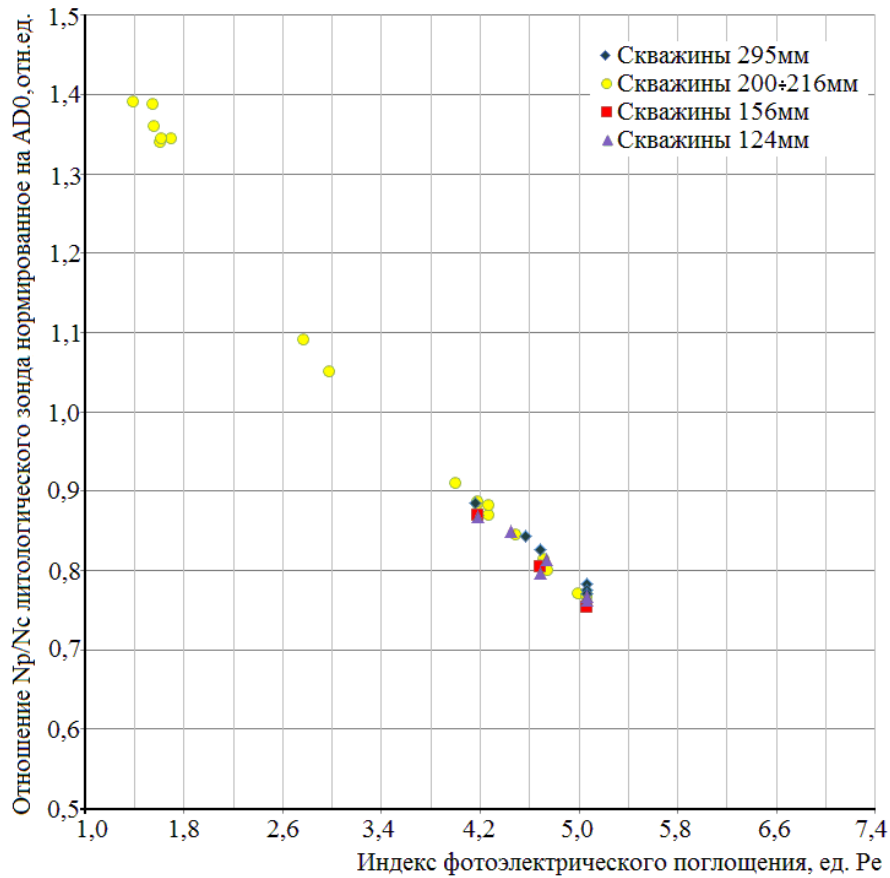


Рисунок 5 Результаты измерений индекса фотоэлектрического поглощения, выраженного в единицах Pe

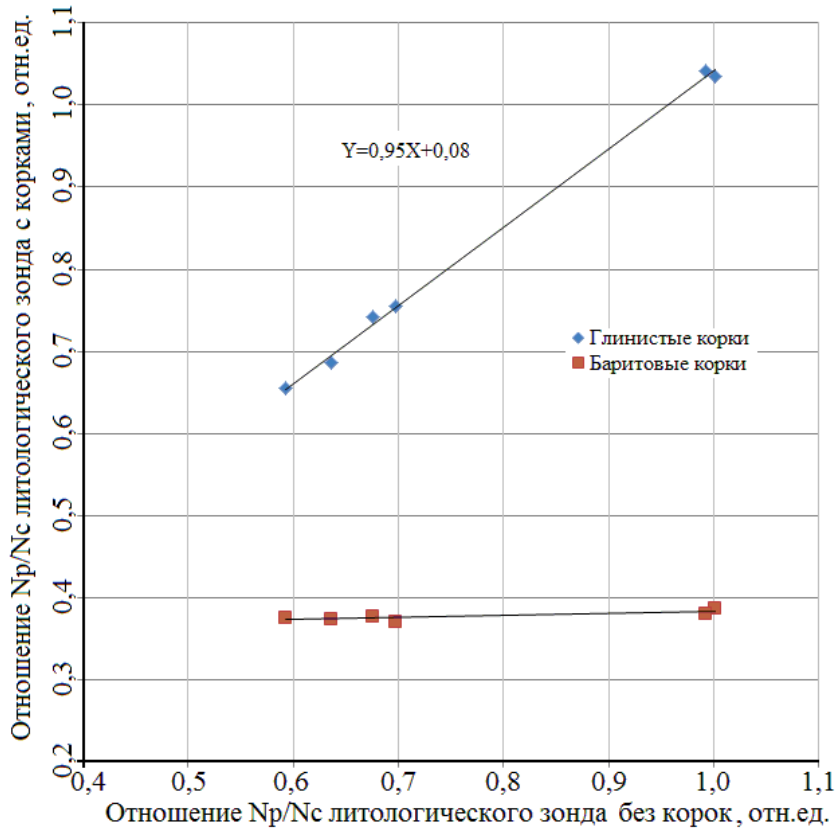
На рисунке 5 отображены результаты измерений индекса фотоэлектрического поглощения, выраженного в единицах Pe. (В некоторых источниках данную величину выражают в размерности [барн/электрон]). Данные получены на полноразмерных моделях и группирование проведено по диаметрам скважин в них. На наш взгляд, на графике полностью отсутствует зависимость показания отношения скорости счета в литологическом канале (Nr) к скорости счета в плотностном канале (Nc) от диаметра скважины. Косвенно данный вывод подтверждается данными таблицы 1, где изменение в показаниях Nr/Nc при проведении измерений со свинцовым «домиком» и без него составляет 0.2% относительных.

Относительно скоростных характеристик зонда ГГК-ЛП-76. При проведении метрологических испытаний для ускорения времени в зонде прибора были установлены детекторы гамма-квантов не «стандартного» типоразмера – несколько меньше, чем обычно применяемые. На сегодняшний день получены от производителя «стандартные» кристаллы для большого и литологического зондов, объем которых больше на 30%. Детектор на малом зонде оставлен без изменений. Испытание зонда с данными детекторами на модели полупласта AD0 показало следующие результаты (Таблица 2).



Данные скоростей счета приведены к активности источника Cs-137, эквивалентному 75 мг экв. Ra.

Таблица 2 Результаты испытания зонда на модели полупласта AD0



Модель	БЗ (имп/мин)	МЗ (имп/мин)	Np (имп/мин)	Nc (имп/мин)
Полупласт AD0	33050	344000	32980	68732

Рисунок 6 Исследование влияния корок на показания зонда при определении эффективного атомного номера

Полученные в ходе проведения модельных работ результаты по компенсации глинистых и баритовых корок на показания плотности лежат в требуемых рамках. Исследование влияния корок на показания зонда при определении эффективного атомного номера отображены на рисунке 6. Как видно, рассматриваемый зонд прибора ГГК-ЛП-76 позволяет проводить определение индекса фотоэлектрического поглощения при толщине глинистой корки, по крайней мере, до 10 мм. Наличие баритовой корки делает определение данного параметра невозможным.



Заключение:

В результате проведения большого объема модельных работ показано, что малогабаритный зонд аппаратуры литолого-плотностного каротажа ГГК-ЛП-76 обладает всеми необходимыми характеристиками, обеспечивающими качественное выполнение скважинных исследований на современном уровне. Ввиду того, что сам выносной зонд имеет диаметр 60мм, его можно применять в аппаратуре большего диаметра без ухудшения метрологических характеристик, например, в автономной аппаратуре типа АПГГК-ЛП-90РИ, доставляемой в интервал исследования на буровом инструменте. При размещении зонда в корпусе прибора и реализации прижима всего прибора, диаметр скважинного прибора в таком случае не превысит 60 мм. Более подробная информация по типу аппаратуры, выпускаемой ООО «НПП Энергия» и примеры ее скважинных исследований, приведены на сайте компании www.power-np.ru.

Литература

1. Велижанин В.А., Вершинин А.В., Саранцев С.Н., Точиленко Г.К., Хаматдинов В.Р., Черменский В.Г., Инструкция по проведению литолого-плотностного гамма-гамма-каротажа аппаратурой серии СГПЛ и обработке результатов измерений // МИ 41-17-1402-04. Тверь: Изд. ГЕРС, 2004г.
2. Лысенков А.И., Повышение эффективности литоплотностного каротажа нефтегазовых скважин// диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 04.00.12 / Октябрьский, 1998г.
3. Хаматдинов В.Р., Разработка аппаратуры и технологии литолого-плотностного гамма-гамма-каротажа нефтегазовых скважин// диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 04.00.12 / Тверь, 2005г.
4. Велижанин В.А., Глебов А.П., Точиленко Г.К., Хаматдинов В.Р., Черменский В.Г., Инструкция по проведению плотностного гамма-гамма-каротажа аппаратурой серии СГП и обработке результатов измерений // МИ 41-17-1401-04. Тверь: Изд. ГЕРС, 2004г.
5. Громов Е.В., Первушин В.В., Цейтлин В.Г., Метрологическое обеспечение плотностного и литоплотностного гамма-гамма-каротажа // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС, 2014г. Вып. 11(245). С.70-76.