

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

Модуль ультразвуковых исследований УЗИ прошёл промышленные испытания и может заменить в комплексе исследований нагнетательных скважин механические расходомеры, термоиндикаторы потока (СТИ) и индукционные резистивиметры. Ниже приведены примеры исследований двух нагнетательных скважин.

Модуль УЗИ имеет три измерительных канала:

- канал скорости потока жидкости.
- канал времени пробега ультразвуковых импульсов, отградуированный по шкале плотности флюида в процентах от плотности пресной воды при нормальной температуре;
- канал амплитуды принятых ультразвуковых импульсов, характеризующий затухание акустического сигнала.

Модуль УЗИ не имеет движущихся механических частей, что обуславливает его надёжность и исключает проблемы отказов в скважине из-за засорения турбинки, что характерно для механических расходомеров.

Метрологические характеристики

Диапазон измерения расхода жидкости в колонне диаметром 146 мм находится в пределах от 10 до 1000 м³/сут.

Допустимое значение основной приведенной погрешности измерения расхода жидкости - не более 2 %.

Диапазон измерения плотности жидкости от 0,7 до 1,3 г/см³.

Допустимое значение абсолютной погрешности измерения плотности жидкости - не более 0,02 г/см³.

Разрешающая способность по отношению к изменению плотности не хуже 0,003 г/см³.

Другие сведения о модуле УЗИ приведены в публикации [1].

Методика исследования нагнетательной скважины модулем УЗИ предусматривает по одному замеру в остановленной скважине при спуске и при подъёме с рекомендуемой скоростью 600 м/ч. Эти замеры используются для калибровки канала скорости потока.

После включения закачки производятся по два замера (не менее) при спуске и при подъёме с рекомендуемой скоростью 400 м/ч. Эти четыре замера при соответствующей обработке в системе ОНИКС-2 обеспечивают определение профиля приёмистости и текущего дебита закачки. Четыре замера (для прибора УЗИ не имеет значения направление протяжки) позволяют за счёт уменьшения случайной погрешности путём совместной обработки улучшить реальную разрешающую способность прибора.

На рис. 1 показана реализация указанной методики – два фоновых замера в остановленной скважине и четыре замера после включения закачки. Интервал перфорации по промысловым данным отмечен в колонке глубины. В заголовках кривых указана скорость протяжки прибора с учётом направления (знак минус означает подъём прибора).

Кривые, зарегистрированные в процессе закачки, имеют необычный зеркально перевёрнутый вид по той причине, что относительная скорость движения жидкости фиксируются модулем УЗИ с учётом знака (направления), причём направление, соответствующее спуску прибора, принято за положительное. Поэтому скорость потока воды относительно прибора при закачке является отрицательной. В добывающей скважине, где скорость потока имеет другое направление и, соответственно, другой знак, кривые приобретают привычный (для механического расходомера РГД) вид – повышение показаний с увеличением скорости потока.

В правой части планшета приведены усредненная кривая для режима закачки и та же кривая после фильтрации флуктуационной составляющей. Уровень флуктуаций на усреднённой кривой линейной скорости не превышает 30 м/ч, что для колонны диаметром 146 мм соответствует

разрешающей способности по расходу не хуже $10 \text{ м}^3/\text{сут}$. Заметим, что с учётом обработки данных реальную разрешающую способность можно оценить величиной $5 \text{ м}^3/\text{сут}$.

В данную скважину спускался полный комплекс модулей аппаратуры ГРАНИТ [2], однако механический расходомер, как это часто бывает, в данном случае практически не работал из-за засорения.

На рис. 2 приведён планшет с результатами количественной обработки данных УЗИ – кривые объёмного и относительного расхода при закачке и профиль приёмистости. Расчётный дебит в колонне 114 мм составил $209 \text{ м}^3/\text{сут}$. Здесь же приведены кривая плотности, полученная модулем УЗИ, и кривая минерализации, полученная модулем «Приток» аппаратуры ГРАНИТ. Эти две кривые качественно повторяют друг друга, однако детальность кривой плотности заметно больше за счёт высокого разрешения.

Ниже приведены результаты сравнительных замеров модулем УЗИ и высокочувствительным механическим расходомером «Расход» с резиновой раскрывающейся турбинкой и рычажной системой уже в другой скважине. Все замеры выполнены единой сборкой модулей.

На рис. 3 показаны по два замера в процессе закачки воды при спуске и при подъёме прибора со скоростью 400 м/час. Замеры РГД при спуске (по направлению потока закачиваемой воды) непригодны для количественной обработки из-за смены направления вращения турбинки в интервале перфорации. В правой части планшета на кривые РГД, выполненные при подъёме, наложена усреднённая кривая, полученная модулем УЗИ (без фильтрации). Эта кривая зеркально перевернута для того, чтобы её можно было сравнить с кривыми РГД. Сравнение показывает удовлетворительное совпадение показаний высокочувствительного механического расходомера и УЗИ.

Любопытна аномалия в зумпфе в районе 1715 м, зафиксированная обоими типами расходомеров. На кривых УЗИ эта аномалия имеет разный знак на спуске и на подъёме, что может быть связано только с существенным местным сужением проходного сечения колонны. На фоновых замерах, не показанных на планшете, аномалия имеет такой же вид. К этому же интервалу приурочена граница повышения плотности и минерализации (рис. 5). О причинах сужения сечения можно только догадываться (возможно, это связано с промывкой зумпфа скважины).

На рис. 4 и 5 приведены результаты количественной обработки данных РГД и УЗИ – кривые объёмного и относительного расхода при закачке и профиль приёмистости. Каналы измерения скорости потока калибровались по замерам в остановленной скважине. Приведение линейной скорости потока к величине расхода осуществлялось по одинаковым формулам с учётом сечения колонны и прибора. Расчётный дебит в колонне 146 мм составил $238 \text{ м}^3/\text{сут}$ по УЗИ и $233 \text{ м}^3/\text{сут}$ по РГД, что является вполне удовлетворительным совпадением (расхождение около 2 %). Профили приёмистости также близки по конфигурации и по количественной оценке приёмистости интервалов.

Здесь, как и в предыдущем случае, кривая плотности качественно согласуется с кривой минерализации и обладает большей детальностью (рис.5).

Выводы.

1. Расходомер модуля УЗИ имеет разрешающую способность, близкую к высокочувствительному механическому расходомеру, но имеет методические и эксплуатационные преимущества, в том числе возможность измерения дебита в НКТ.
2. Высокочувствительный плотностномер модуля УЗИ в нагнетательных скважинах по информативности не уступает индукционному резистивиметру и, с учётом невысокой эксплуатационной надёжности последнего, вполне может его заменить в аппаратурных комплексах исследования нагнетательных скважин.
3. Высокая надёжность модуля УЗИ по сравнению с механическими расходомерами позволит увеличить охват фонда нагнетательных скважин расходомерическими исследованиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буевич А.С. Модуль ультразвуковых исследований для эксплуатационных скважин. // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2006. Вып. 143-145. с 91-97.
2. Буевич А.С. Цифровая скважинная аппаратура для геофизических исследований скважин «ГРАНИТ». // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 1997. Вып. 31.

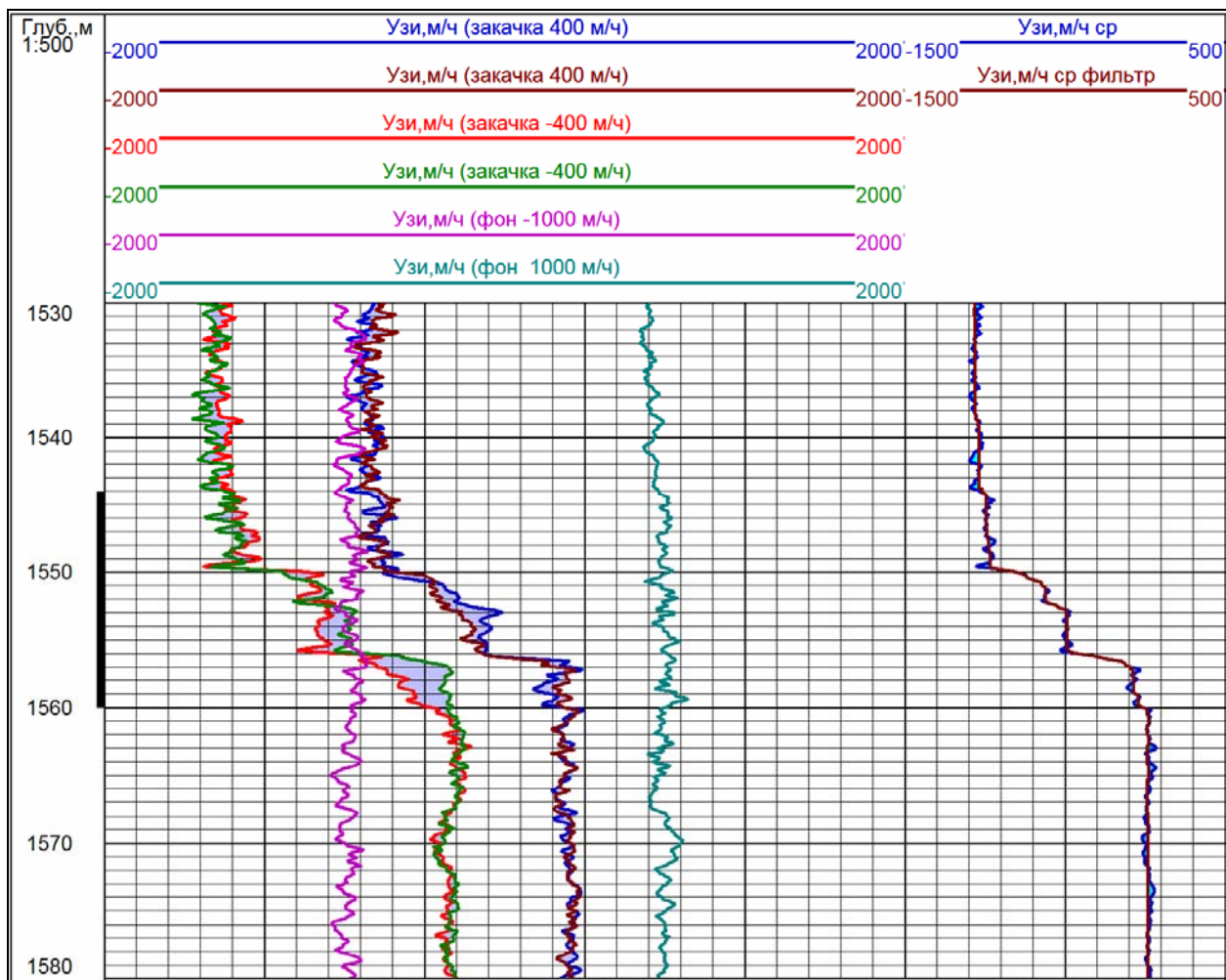


Рис. 1. Замеры в остановленной скважине и в процессе закачки.

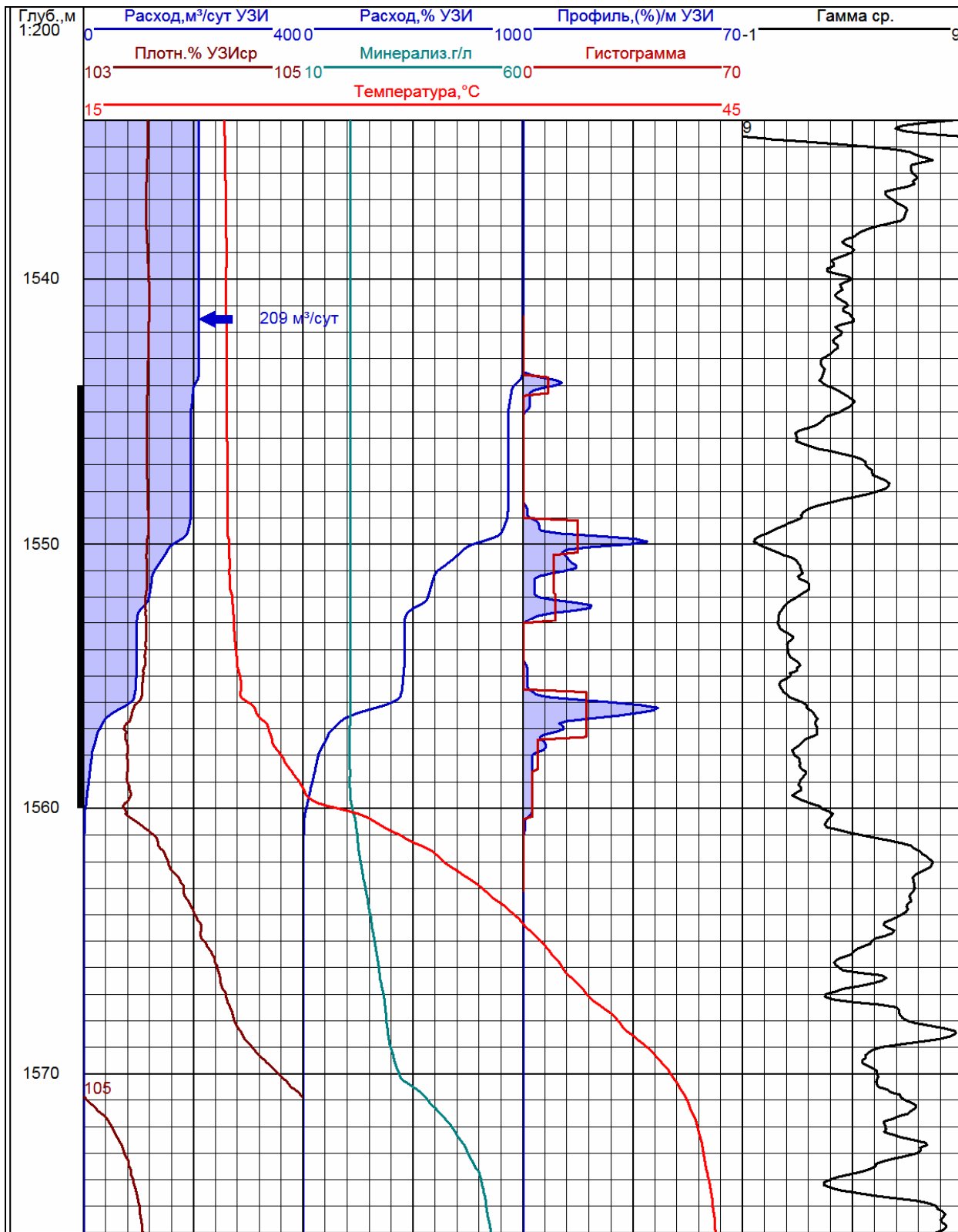


Рис. 2. Результаты количественной обработки данных УЗИ.

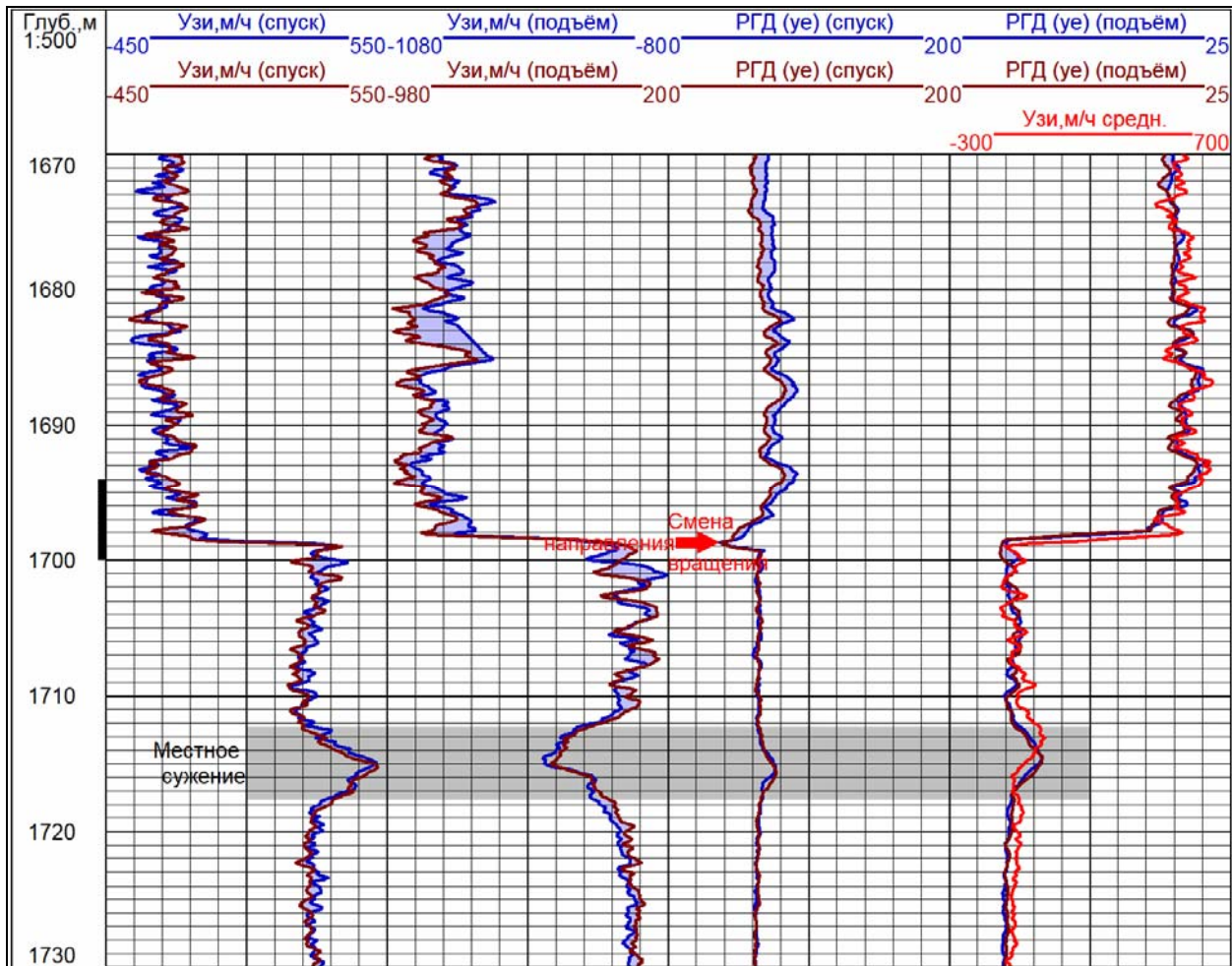


Рис. 3. Результаты сравнительных замеров модулем УЗИ и РГД.

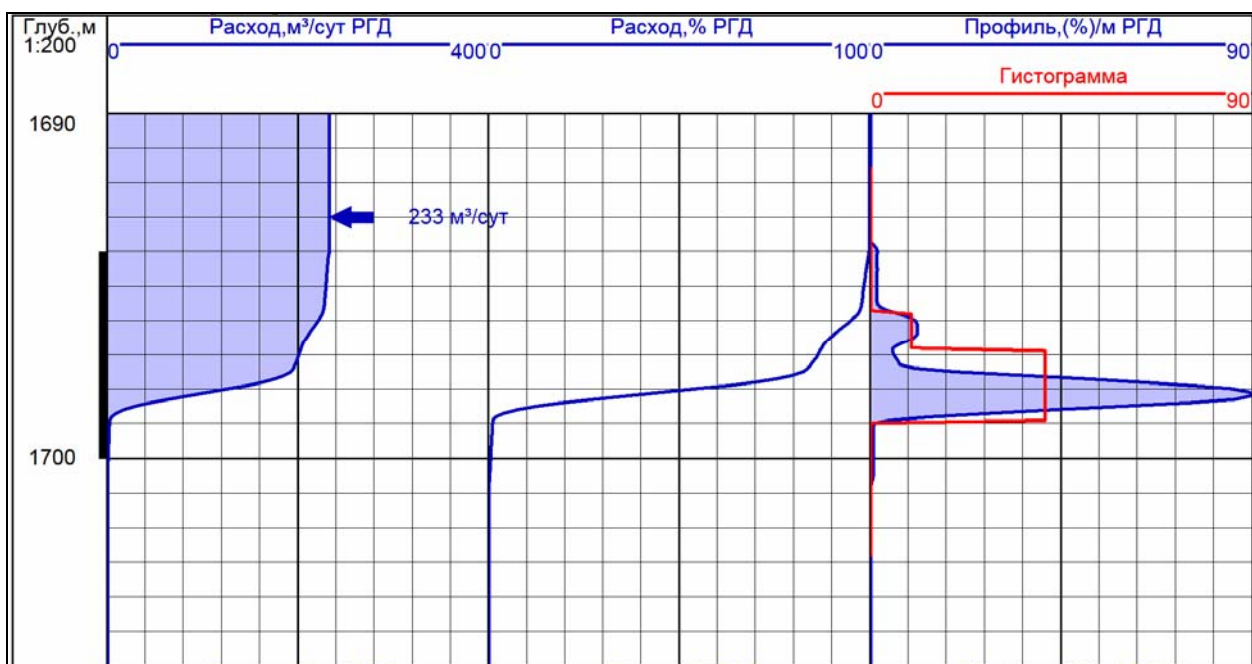


Рис. 4. Результаты количественной обработки данных РГД.

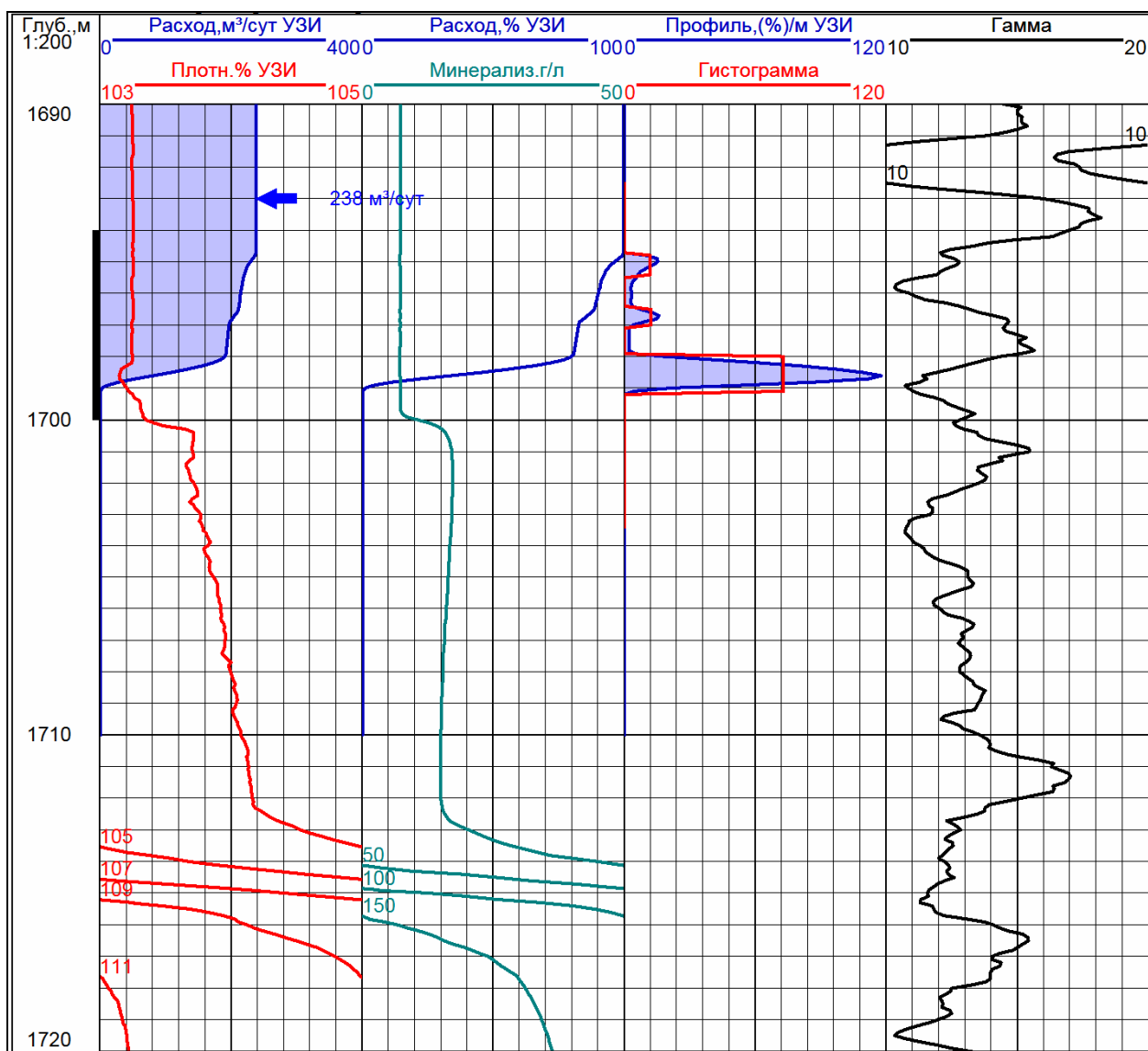


Рис. 5. Результаты количественной обработки данных УЗИ.