

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

О.В. Горбатюк, А.Э. Шумейко, С.П. Скопинцев
РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина
e-mail: skopintsev.sp@gmail.com

На кафедре геофизических информационных систем (ГИС) РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина используется комплект лабораторных учебных стандов, разработанных и изготовленных на основе цифровых технологий с привлечением современного программного и аппаратного обеспечения, в основном средств Arduino [1].

Необходимым условием, обусловившим разработку таких стандов, явилась потребность изучения в вузе современных цифровых скважинных приборов и систем, их работы, конструктивного и программного воплощения.

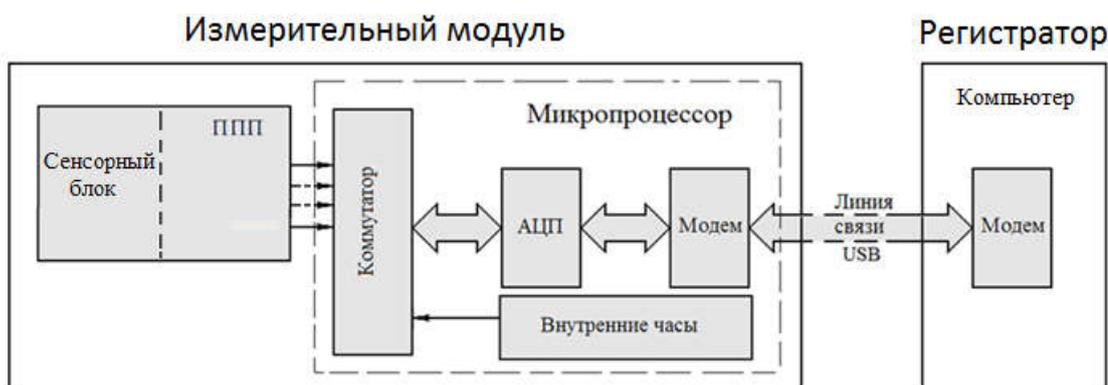


Рис. 1. Функциональная схема учебных стандов

Достаточным условием явился высокий уровень развития электронной базы, в особенности цифровых микросхем, создание новых материалов и технологий производства, что позволило студентам успешно исследовать процессы получения и преобразования информации с помощью многофункциональных высокопродуктивных устройств.

Большая часть учебных стандов выполнена по унифицированной схеме USB-устройств (рис. 1). Питание стандов обеспечивается напряжением +5 В разъема USB.

Стенд градуировки термометра

Лабораторный стенд градуировки термометра имеет в своем составе измерительный модуль Т2-КП и термостат ТС-КП.

В измерительном модуле (рис. 2) расположены образцовый и рабочий термометры [2]. В сенсорном патроне 1 модуля установлены сенсоры рабочего и образцового термометров, в корпусе 2 находится микропроцессорная электронная схема, соединяемая с компьютером USB-разъемом 3.



Рис. 2. Измерительный модуль T2-КП (USB)

Регулятор 2 термостата (рис. 3) задает, а электронная система термостата устанавливает и поддерживает в термогнезде 1 заданные значения температуры. Процесс управления температурой индицируется светодиодом 3.

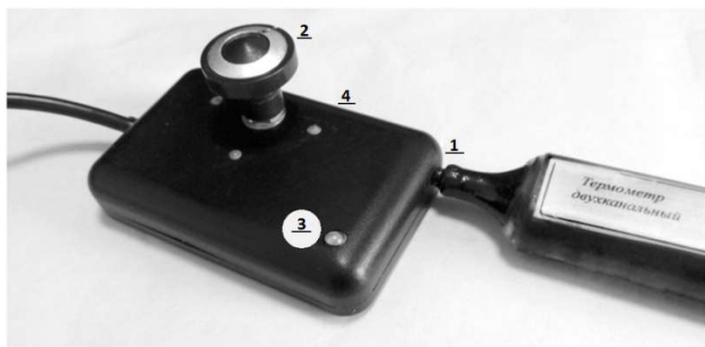


Рис. 3. Стенд градуировки термометра

При проведении градуировки студенты устанавливают патрон термометра в термогнездо и изменяют температуру в нем по заданной программе. Затем на основании показаний обоих термометров в контрольных точках рассчитывают характеристику преобразования рабочего термометра.

Кроме поточечных испытаний стенд позволяет провести непрерывную градуировку, при которой температуру изменяют во всем рабочем диапазоне и регистрируют массив всех показаний образцового и рабочего термометров. Эти данные вводят в программу Excel, формируют график их взаимозависимости и рассчитывают коэффициенты преобразования рабочего термометра (рис. 4).

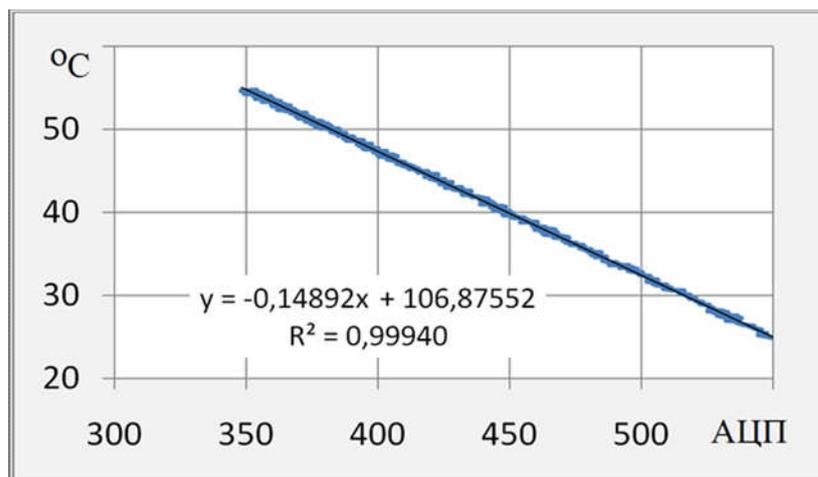


Рис. 4. Расчет коэффициентов преобразования рабочего термометра

Стенд градуировки манометра

Особенностью тензометрических сенсоров давления является зависимость их характеристики преобразования не только от измеряемого давления, но и от температуры окружающей среды [2]. Поэтому градуировка манометра проводится во всем диапазоне рабочих температур, а при расчете измеренных величин давления вводятся поправки по температуре.

В лабораторной работе используется устройство, в котором испытуемый лабораторный и образцовый манометры находятся внутри корпуса градуировочного стенда (рис. 5). Режим градуировки – непрерывный.

Кнопкой включения 2 запускают процесс изменения давления: встроенным воздушным насосом сначала задают верхнее значение давления, которое затем с малой скоростью уменьшается до нуля. Этот процесс повторяют при 3–5-ти значениях температуры, которые задают с помощью регулятора 1.



Рис. 5. Градуировочный стенд манометра MC-КП

На рис. 6 показан исходный файл Excel градуировки манометра с тремя градуировочными массивами данных, по которым затем рассчитывают характеристику преобразования рабочего манометра.

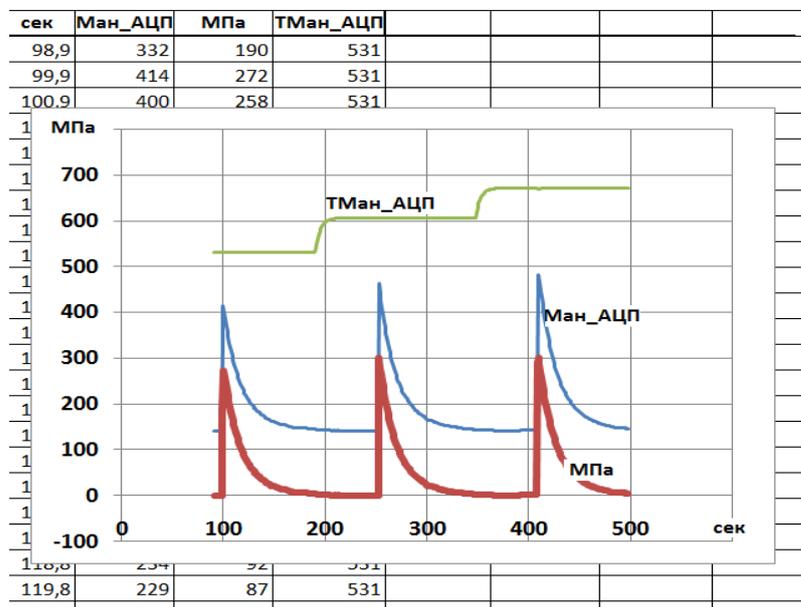


Рис. 6. Файл градуировки манометра

Стенд измерения инерционности датчика температуры [3, 4]

Инерционность датчика термометра принято определять путем регистрации и анализа графика температуры, полученного при перемещении термометра из воздуха в подвижную водную среду с другой температурой. Формула изменения температуры датчика при его переходе – экспоненциальная (рис. 7):

$$C(t) = C_0 + (C_B - C_0) \cdot (1 - \exp(-t/\mathcal{T})),$$

где $C(t)$ – текущее значение температуры; C_0 – температура воздуха;

C_B – температуры воды; \mathcal{T} – константа (инерционность датчика).

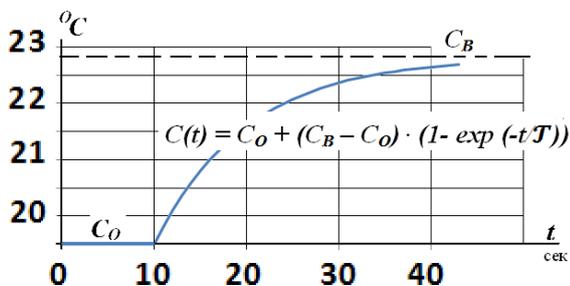


Рис. 7. Термограмма переходного процесса

В лабораторной работе студенты, записав термограмму переходного процесса, рассчитывают значение инерционности следующим методом:

- выделяют «чистую» экспоненту из общего графика;
- логарифмируют выделенную экспоненту;
- строят линию тренда с выводом формулы $y = ax + b$;
- производят прямой расчет инерционности $\mathcal{T} = -1/a$.

Выполнение лабораторных работ производится 6–8 бригадами. Поэтому термометр, используемый в этой работе, записывает 8 диаграмм, по одной для каждой бригады (рис. 8). Это повышает интерес студентов при выполнении работ.

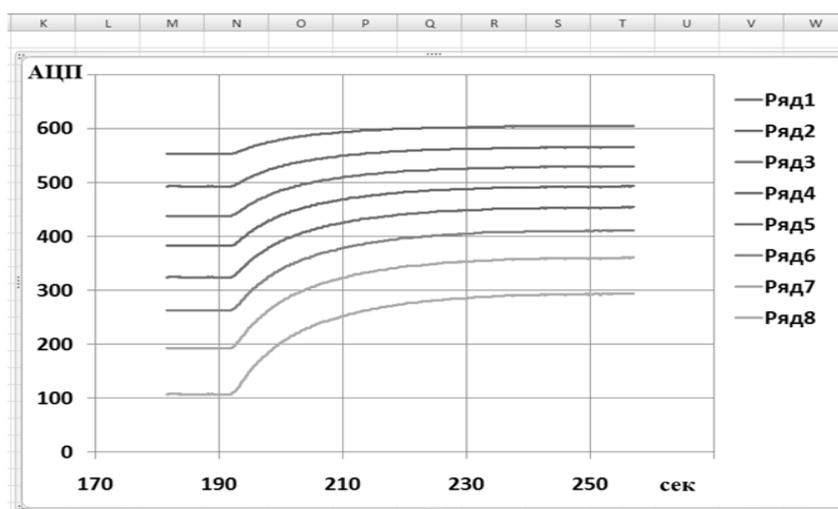


Рис. 8. Термограммы переходного процесса

Стенд градуировки термоанемометра

Принцип работы термоанемометра основан на эффекте охлаждения нагретого объекта потоком флюида [5].

Конструктивно (рис. 9) датчик скважинного термоанемометра имеет форму цилиндра 2, расположенного вдоль потока. Внутри цилиндра установлены нагреватель 3 и термометр 1. Тепло от нагревателя по стенке датчика проходит к термометру, а поток флюида «сносит» это тепло с датчика. Определяя разницу между температурой термоанемометра TA и температурой окружающей среды T , для однокомпонентного потока можно рассчитать параметр охлаждения CTA , пропорциональный дебиту:

$$CTA = A/(TA - T) + B.$$



Рис. 9. Конструкция датчика термоанемометра и термоанемометр ТА-КП

В скважинной аппаратуре температуру термоанемометра T_A и температуру окружающей среды T измеряют одновременно разными датчиками, что позволяет получить большой объем информации за достаточно малое время.

В лабораторном термоанемометре ТА-КП сначала нагрев отключают, чтобы измерить температуру окружающей среды. Через заданное время он автоматически включается, и студенты проводят измерения.

Испытания проводят в стенде градуировки термоанемометра (рис. 10). В отверстие 4 трубы стенда устанавливают испытуемый термоанемометр, по трубе 1 вентилятором 2 прогоняют поток воздуха с разными скоростями.

Скорость потока измеряют турбинным расходомером 3.

В процессе испытаний регулятором 5 изменяют скорость потока, регистрируют соответствующие значения температуры термоанемометра и определяют расчетное значение скорости потока.

Затем студенты определяют рабочий диапазон скоростей флюида и рассчитывают передаточную характеристику термоанемометрического расходомера. На диаграмме (рис. 11) показано, что расчетный параметр СТА линейно зависит от скорости потока воздуха в диапазоне от 3 до 8 м/с с достоверностью 0,995.



Рис. 10. Стенд градуировки термоанемометра

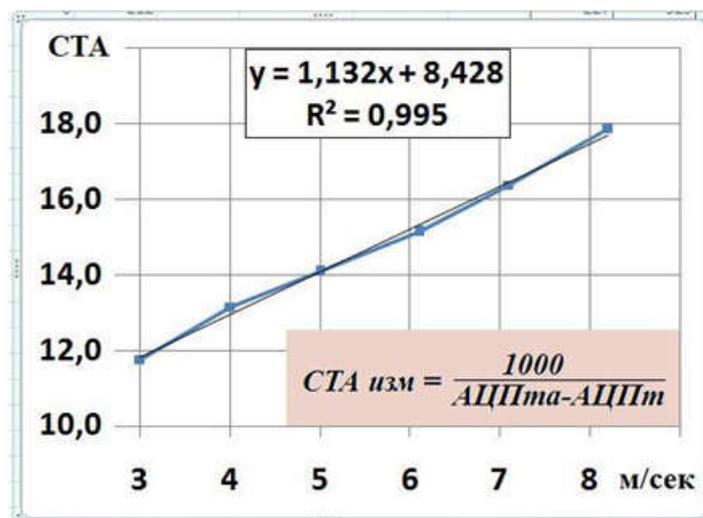


Рис. 11. Диаграмма передаточной характеристики

Стенд испытаний влагомера

Работа влагомера (рис. 12) основана на измерении емкости конденсатора, между обкладками которого находится анализируемая среда [6]. В скважинном влагомере первым электродом конденсатора является стержень 1, изолированный от среды диэлектриком 2, а в качестве второго электрода используют заземленный защитный кожух 3. В лабораторном влагомере анализируемая среда окружает изолированные электроды конденсатора снаружи.

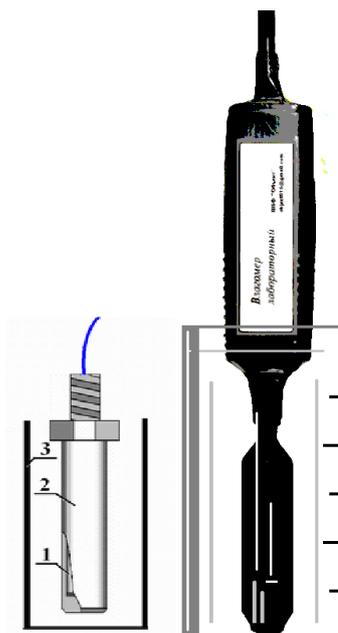


Рис. 121. Конструкция цилиндрического сенсора скважинного влагомера и внешний вид лабораторного влагомера ВЛ-КП

Поскольку диэлектрическая проницаемость воды значительно больше проницаемости нефти и газа, то с помощью влагомера с достаточно высокой точностью можно измерять, например, уровень воды в стеклянной емкости. Однако, если влагомером измерять смесь воды и пены, то линейная зависимость показаний влагомера от процентного содержания воды в емкости нарушается (рис. 13).

При выполнении данной лабораторной работы студенты занимаются проверкой и объяснением этого положения. Полученные результаты они применяют для анализа показаний скважинного влагомера в обводненных скважинах, где продуктивный интервал находится ниже границы раздела «нефть-вода» [7].

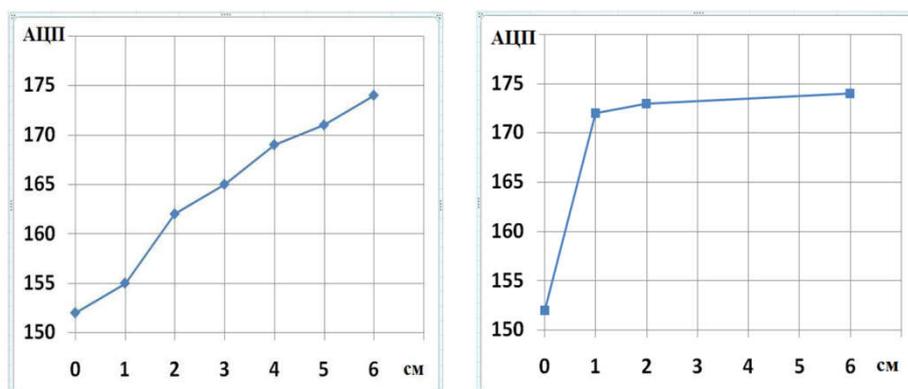


Рис. 2. Испытания влагомера в воде (слева) и в смеси воды и пены

Стенд настройки питания ФЭУ в модуле ГК-КП

Типовой модуль ГК [8] работает следующим образом (рис. 14).

Сенсор *BD1* (монокристалл NaI, активированный Таллием) преобразует пролетающие сквозь кристалл гамма-кванты в световые вспышки, которые воздействуют на катод *фотоэлектронного умножителя* ФЭУ (VL1).

Кванты света выбивают из катода электроны, которые под действием ускоряющего электрического поля, поданного на диоды ФЭУ, запускают лавинообразный процесс умножения тока. В результате на аноде ФЭУ (вывод 9) формируются импульсы тока большой амплитуды, которые через интегрирующий усилитель VT3 направляются в счетчик ГК.

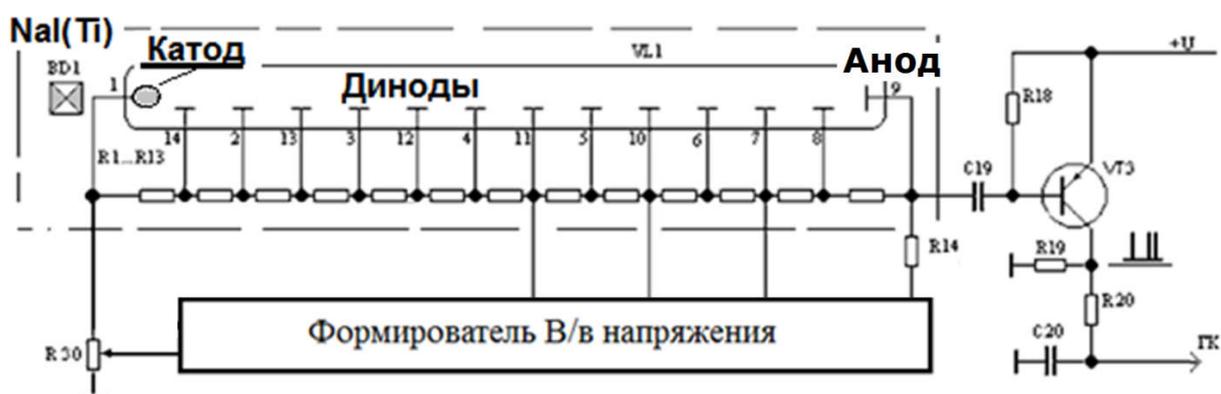


Рис. 14. Электрическая схема модуля ГК

В процессе лабораторной работы студенты, изменяя резистором R30 величину ускоряющего высоковольтного напряжения (В/в), снимают счетную характеристику ФЭУ (рис. 15), т.е. зависимость количества импульсов N на выходе модуля ГК от напряжения питания ФЭУ. Затем определяется и устанавливается резистором R30 рабочая точка С в середине «плато» АВ.

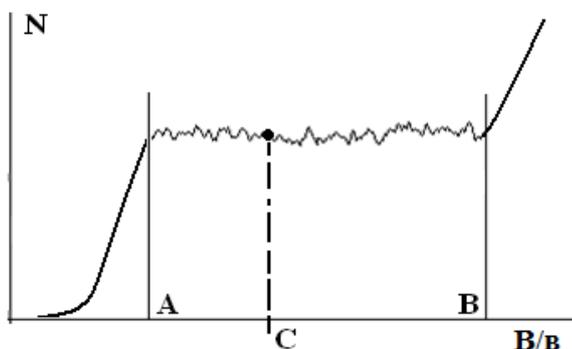


Рис. 15. Рабочая точка на плато счетной характеристики ФЭУ

При защите работы студенты объясняют наличие «плато» на счетной характеристике ФЭУ.

Стенд испытаний локатора муфт

Основная функция скважинного локатора муфт – контроль и регистрация изменений магнитных характеристик элементов конструкции скважины, прилегающих к прибору: муфтовых соединений и перфорационных отверстий [9].

Рассмотрим конструкцию локатора муфт и процесс формирования выходного сигнала ЛМ (рис. 16).

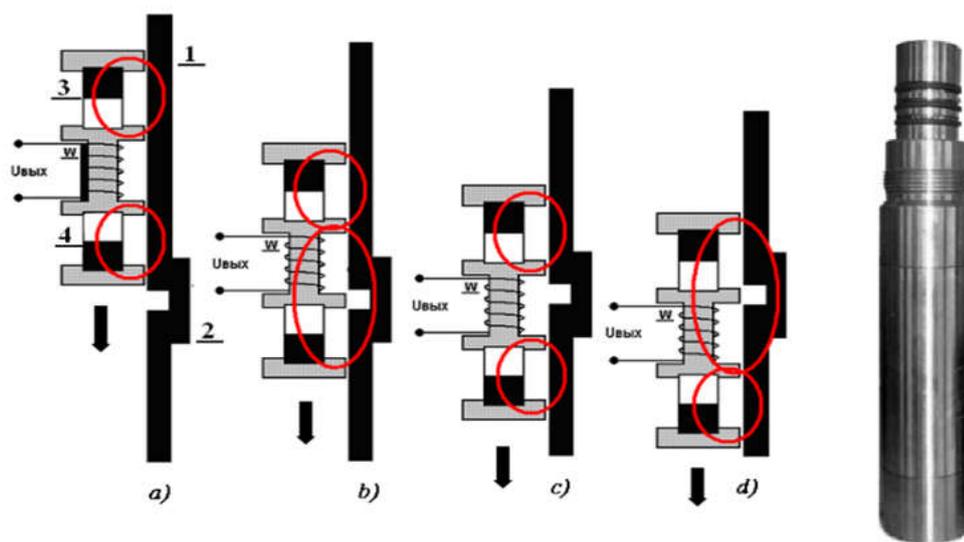


Рис. 16. Внешний вид и принцип работы магнитного локатора муфт

В приборе с упором в крайние железные башмаки встречно установлены магниты 3 и 4, между которыми находится индуктивный датчик: катушка W , намотанная на железный сердечник. Когда прибор движется по сплошной стенке трубы 1, магнитное поле в катушке отсутствует. Когда прибор проходит мимо зазора труб в муфтовом соединении 2, магнитные линии перераспределяются внутри конструкции локатора, формируя в катушке W электрический сигнал $U_{\text{ВЫХ}}$, пропорциональный скорости этого изменения $U_{\text{ВЫХ}} = dF/dt$.

В процессе выполнения лабораторной работы студенты регистрируют диаграммы ЛМ (рис. 17), перемещая стальную пластину по корпусу локатора муфт с разными скоростями и на разных расстояниях локатора от пластины.

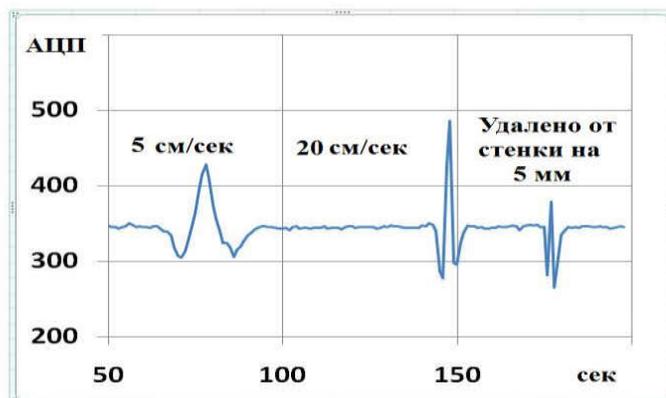


Рис. 17. Выходные сигналы локатора муфт

ЛИТЕРАТУРА

1. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino> (Дата обращения: 01.12.2017)
2. Скопинцев С.П. и др. Метролого-методическое обеспечение измерений температуры и давления аппаратурой газодинамического каротажа // Каротажник. 1999. № 62. С. 92–105.
3. Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. М.: Недра, 1965. С. 130–141.
4. Скопинцев С.П. Аппаратура ГИС-контроль // Учеб. пос. М.: Изд. центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. С. 119–120.
5. Жувагин И.Г., Комаров С.Г., Черный В.Б. Скважинный термокондуктивный дебитомер СТД. М.: Недра, 1973.
6. А. с. № 713994 СССР. Скважинный влагомер / Бельшев Г.А. и др.; Заявл. 08.12.1976; Опубл. 05.02.1980 // ФИПС Реестр изобретений. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>.
7. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. М.: Нефть и газ, 2003. 689 с.
8. Скопинцев С.П. Аппаратура ГИС-контроль // Учеб. пос. М.: Изд. центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. С. 68–72.
9. Скопинцев С.П. Возможности магнитного локатора муфт при исследовании интервалов перфорации // Каротажник. 2003. № 105. С. 114–119.