

О ПРИМЕНЕНИИ ЦИФРОВЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК

Латыпов А.Ф., Князев А.А., Ковшов В.Д.

*ООО НПП "Грант"
email: info@grant-ufa.ru*

В статье приведены результаты испытаний цифрового датчика давления МТУ-05 производства ООО НПП "Грант" на действующем трубопроводе для использования его в составе системы обнаружения утечек, использующей метод ударных волн.

Ключевые слова: трубопровод, система обнаружения утечек, измерение давления, ударная волна, цифровой датчик давления

Оперативное обнаружение утечек на трубопроводе с определением места их возникновения является в настоящее время актуальной задачей и особенно при транспортировке углеводородов. Практически всегда результаты аварий при перекачке углеводородов приводят к серьёзным экологическим последствиям для окружающей среды. Участились в последнее время и случаи хищения продуктов перекачки путем несанкционированных врезок в трубопровод, что зачастую приводит к авариям. Всё это свидетельствует об актуальности работ по разработке и внедрению систем обнаружения утечек на трубопроводах.

В настоящее время известны ряд методов обнаружения утечек на трубопроводах [1], одним из наиболее распространённых среди которых является метод отрицательных ударных волн. Использование этого метода основано на измерении динамики давления на концах трубопровода с помощью датчиков давления.

В 2009 году на трубопроводе ОАО "Подземнефтегаз" предприятием ООО НПП "Грант" [2] совместно с предприятием НПФ "Экситон-автоматика" [3] проводились испытания элементов системы обнаружения утечек, основанной на указанном методе.

Целью проведения испытаний было подтверждение возможности определения утечек датчиками МТУ-05 производства ООО НПП "Грант". Данный датчик был специально разработан по заданию ОАО "Баштрансгаз" (ныне подразделение ОАО "Газпром") для системы автоматического закрытия кранов в случае возникновения утечек в трубопроводе.

Основными целями эксперимента были:

1. Оценка уровня технологических шумов на трубопроводе и сравнение их с собственным шумом датчика.
2. Оценка скорости распространения ударных волн давления по трубопроводу.
3. Оценка уровня искажения ударных волн давления по протяженности трубопровода.

Характеристики трубопровода

Испытания проводились на трубопроводе со следующими характеристиками:

- протяжённость 12 километров;
- перекачиваемый продукт ШФЛУ;
- диаметр трубопровода 273/257 мм;
- рабочее давление до 1,4 МПа (в период испытаний 0,9 МПа);
- максимальное давление 1,6 МПа;
- расход в период испытаний 125 м³/ч.

Используемое оборудование

При испытаниях использовалось следующее оборудование:

- датчик МТУ-05 с пределом измерения 60 кгс/см², 2 шт;
- барьер искрозащиты БИСГ 12-4, 2 шт;
- шлюз передачи данных GW-485.01 (конвертер RS-232/RS-485), 2 шт;
- ноутбук с установленным программным обеспечением (ПО) SensorManager, 2 шт.

Всё использованное оборудование для измерения и передачи данных и программное обеспечение было производства ООО НПП "Грант".

Датчики МТУ-05 были установлены в начале и конце трубопровода. Каждый датчик был подсоединён к отдельному ноутбуку кабелем (порядка 100 метров) через барьер искрозащиты БИСГ 12-4 и шлюз передачи данных GW-485.01. Частота измерения давления для датчиков была установлена равной 100 Гц.

Частота регистрации данных в ПО SensorManager - 25 Гц. Регистрация проводилась в реальном времени с привязкой ко времени компьютера. Часы ноутбуков были предварительно синхронизированы вручную ("на глаз"). Ошибка синхронизации составляла примерно ± 1 секунда. Схема эксперимента приведена на рис. 1, схема самого трубопровода - на рис. 2.

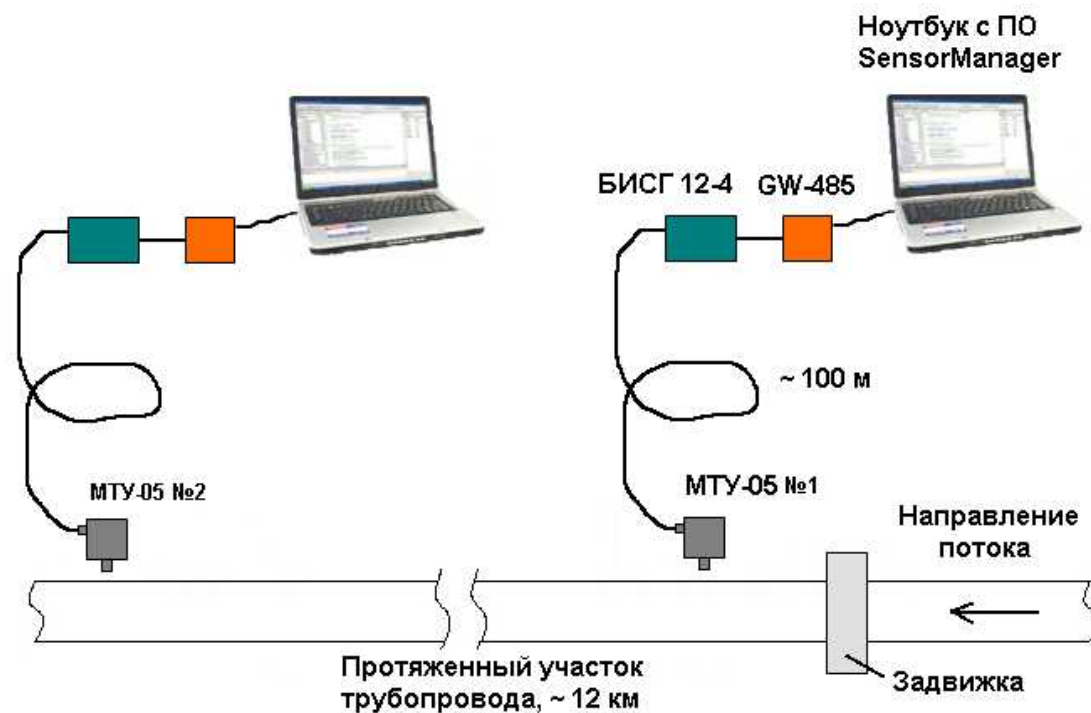


Рисунок 1. Схема подключения датчиков

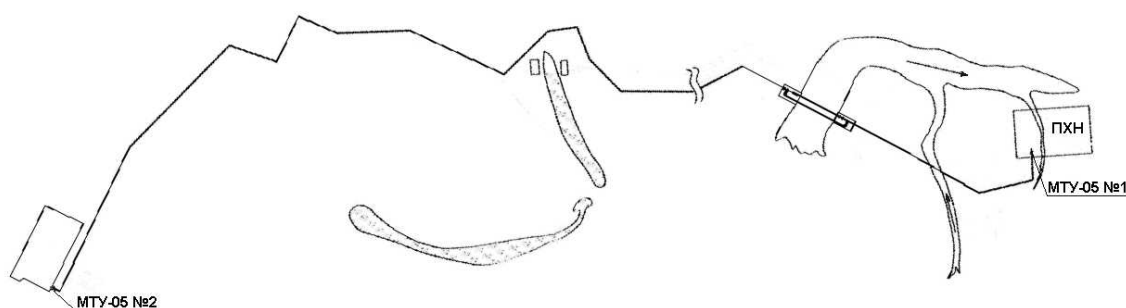


Рисунок 2. Схема трубопровода

Описание испытаний

С целью определения собственного шума датчиков, предварительно до установки их на трубопровод, была проведена регистрация показаний обоих датчиков давления. Полученные данные приведены на рисунке 3 и показывают, что размах собственного шума датчика МТУ-05 №1 составлял $0,007 \text{ кгс/см}^2$, а для датчика МТУ-05 №2 - $0,005 \text{ кгс/см}^2$.

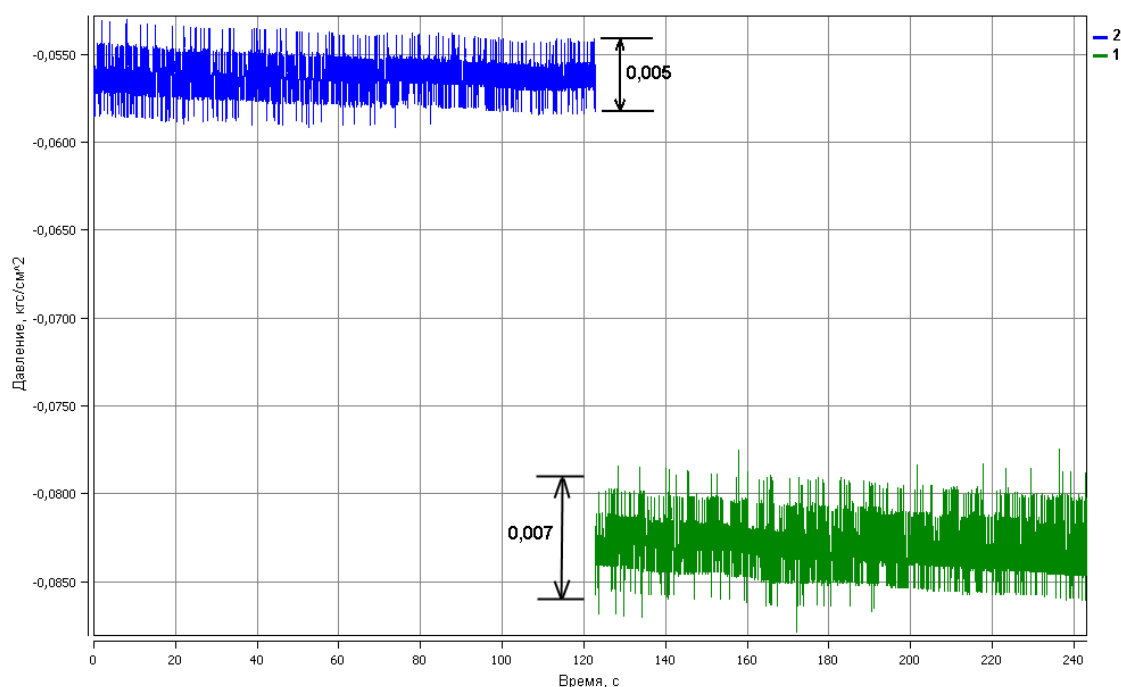


Рисунок 3. Собственный шум датчиков, участвующих в испытаниях: нижний график для датчика МТУ-05 №1, верхний - для датчика МТУ-05 №2

В процессе эксперимента датчик №1 был установлен в начале трубопровода и подсоединён к одному ноутбуку, а датчик №2 - в конце трубопровода и подсоединён ко второму ноутбуку.

После монтажа элементов системы и начала регистрации были произведены следующие действия:

1. закрытие задвижки с первоначального расхода в $125 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $95 \text{ м}^3/\text{ч}$ (задвижка располагалась вне контролируемого участка трубопровода до места установки первого датчика, расход измерялся по показаниям штатных расходомеров);

2. открытие задвижки до расхода $110 \text{ м}^3/\text{ч}$;
3. открытие задвижки до расхода $120 \text{ м}^3/\text{ч}$;
4. открытие задвижки до расхода $132 \text{ м}^3/\text{ч}$;
5. закрытие задвижки до первоначального расхода $125 \text{ м}^3/\text{ч}$.

После окончания всех манипуляций задвижкой данные с обоих датчиков были записаны в файл и перенесены на один ноутбук.

Дальнейшая обработка полученных данных была произведена в программе GNU Octave [4]. Для этого полученные данные по обоим датчикам из программы SensorManager были экспортированы в текстовый формат.

Совмещённые по времени графики давления для обоих датчиков показаны на рис. 4. Ошибка совмещения по времени составляет ± 1 секунда (данные измерения привязывались к часам ноутбуков).

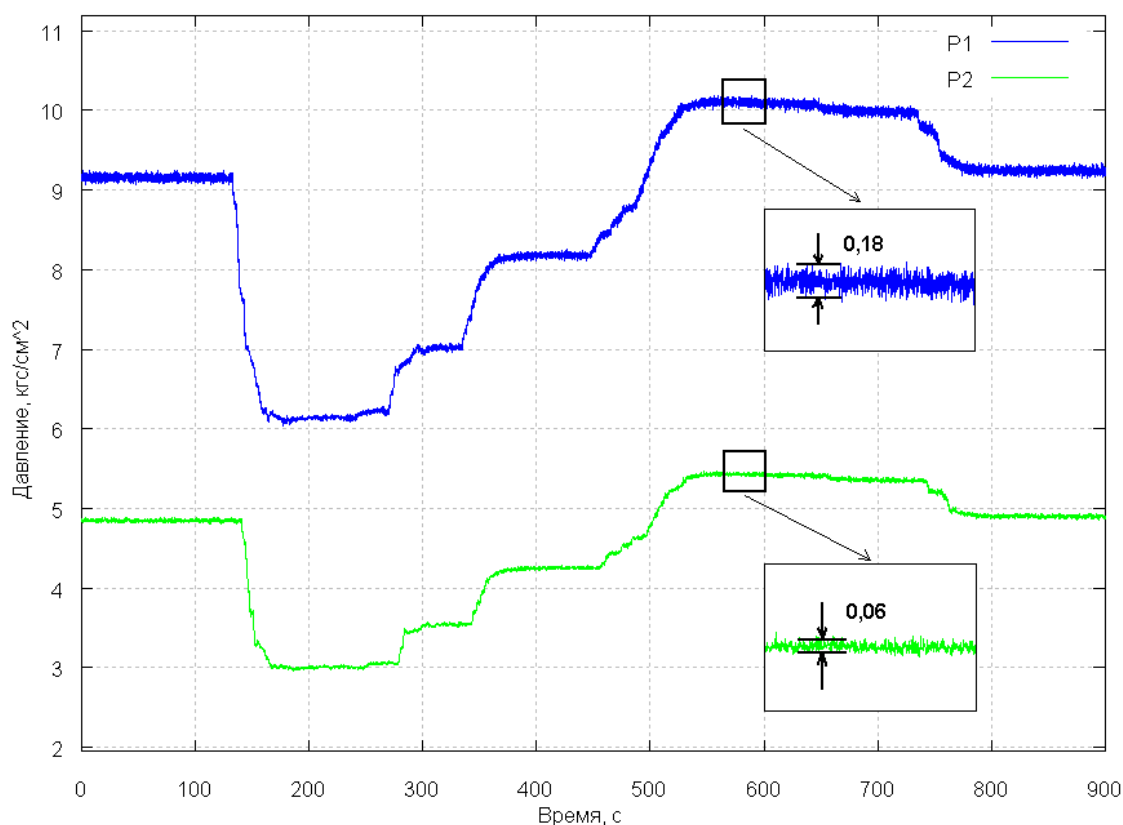


Рисунок 4. Графики изменения давления в начале (P1) и конце трубопровода (P2) во время манипуляций задвижкой в начале трубопровода

Из анализа результатов эксперимента можно сделать вывод:

— технологический шум в начале трубопровода составляет около 0,18 кгс/см², что в 25 раз превышает собственный шум датчика (около 0,007 кгс/см², см. рисунок 3);

— технологический шум в конце трубопровода составляет около 0,06 кгс/см², что в 3 раза меньше технологического шума в начале трубопровода;

— давление в начале трубопровода до манипуляций задвижкой составляло 9,15 кгс/см², а в конце трубопровода 4,85 кгс/см²;

— падение давления на 1 километр трубопровода для расхода 125 м³/ч составило 0,36 кгс/см² на километр.

Для удобства сравнения, полученные графики были нормированы по давлению на шкалу от 0 до 1 по формуле $(P_i - P_{min}) / (P_{max} - P_{min})$ — рис. 5.

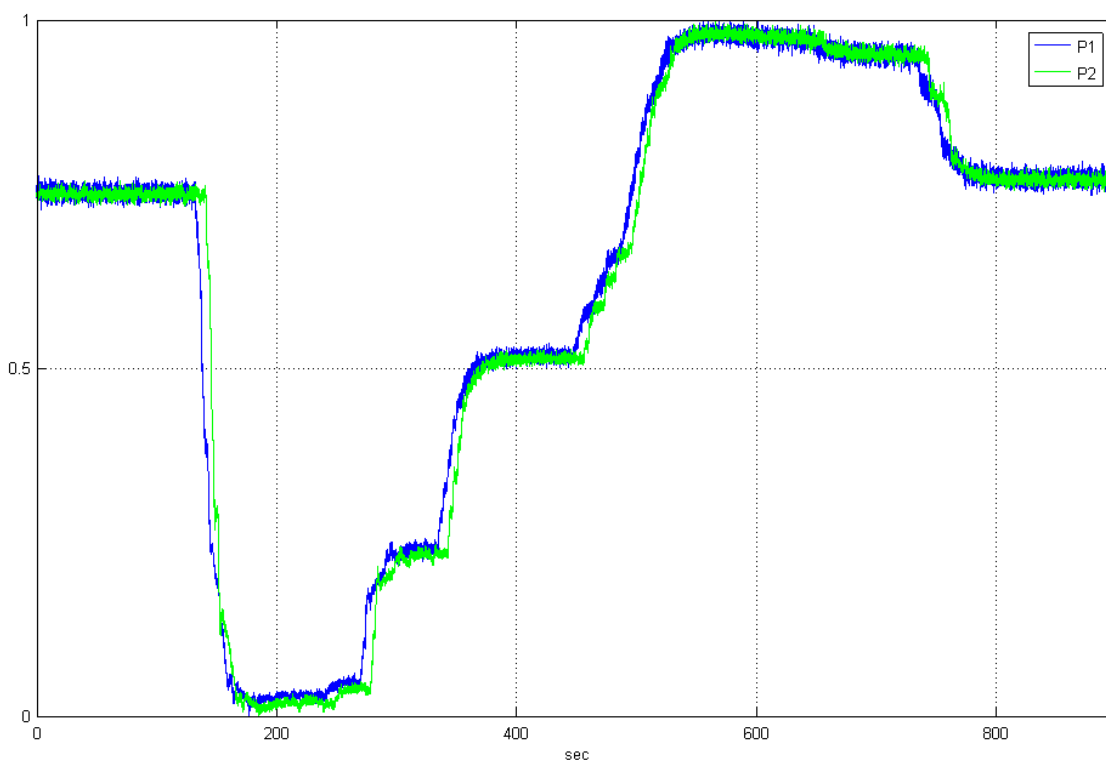


Рисунок 5. Нормированные графики давления в начале (P1) и конце трубопровода (P2)

На рис. 5 отчётливо видно отставание во времени фронтов давления в конце трубопровода от фронтов давления в начале трубопровода. При более детальном рассмотрении графиков можно показать, что эта задержка составляет около 9 секунд (± 1 секунда ошибки синхронизации ноутбуков) и связана с конечной скоростью распространения гидравлических ударных волн по трубопроводу. Полученная задержка позволяет оценить скорость распространения гидравлических ударных волн по трубопроводу (1333 ± 150 м/с), что хорошо согласуется с теорией.

Для удобства дальнейшего сравнения график давления в конце трубопровода был сдвинут на величину полученной задержки (см. рис. 6). Наиболее интересные участки графиков выделенные на рис. 6 более детально показаны на рис. 7 - 12.

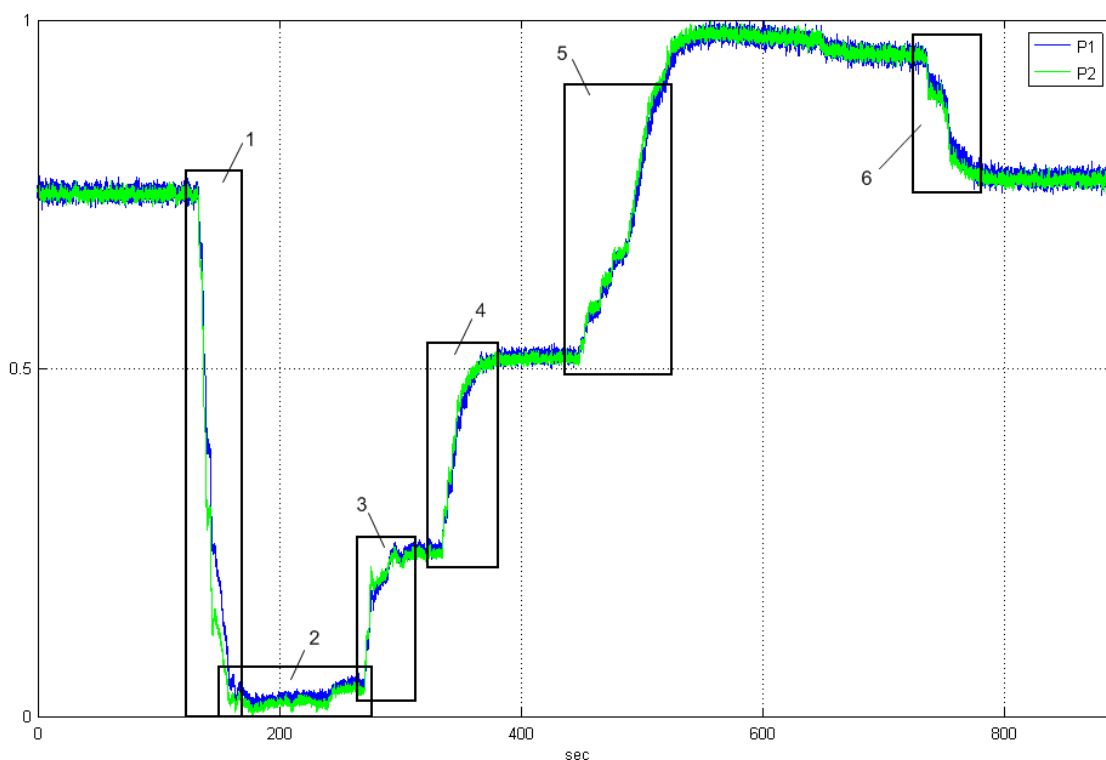


Рисунок 6. Нормированные и сдвинутые графики давления в начале (P1) и конце (P2) трубопровода

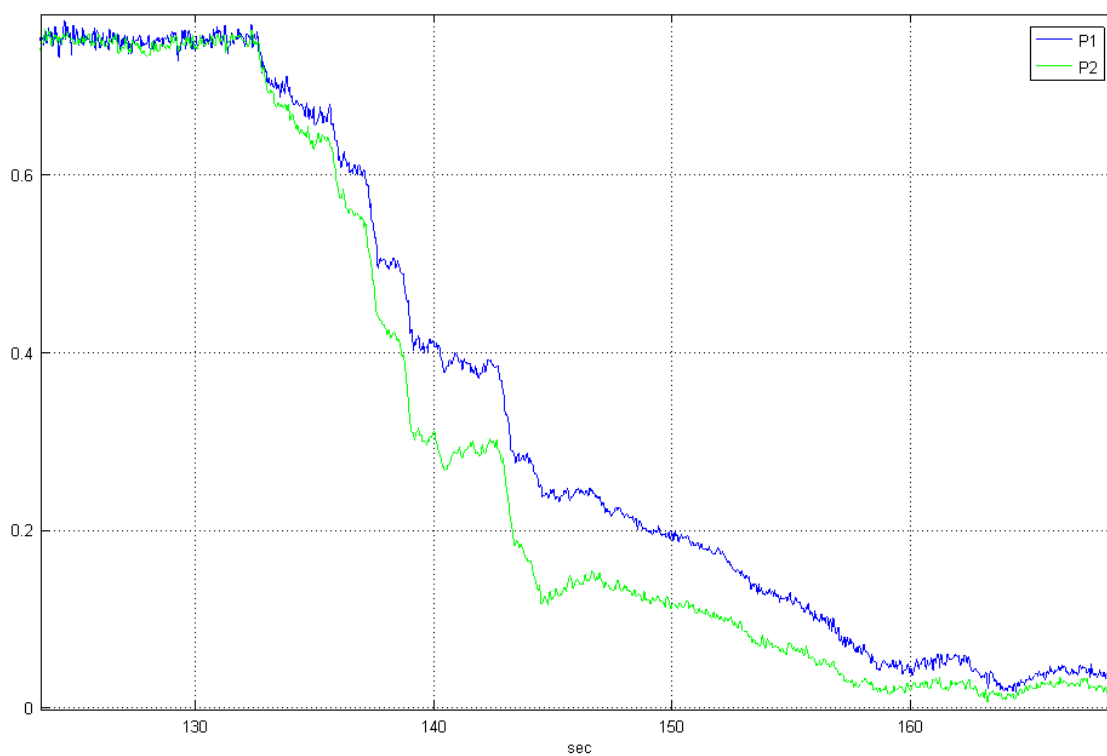


Рисунок 7. Участок 1

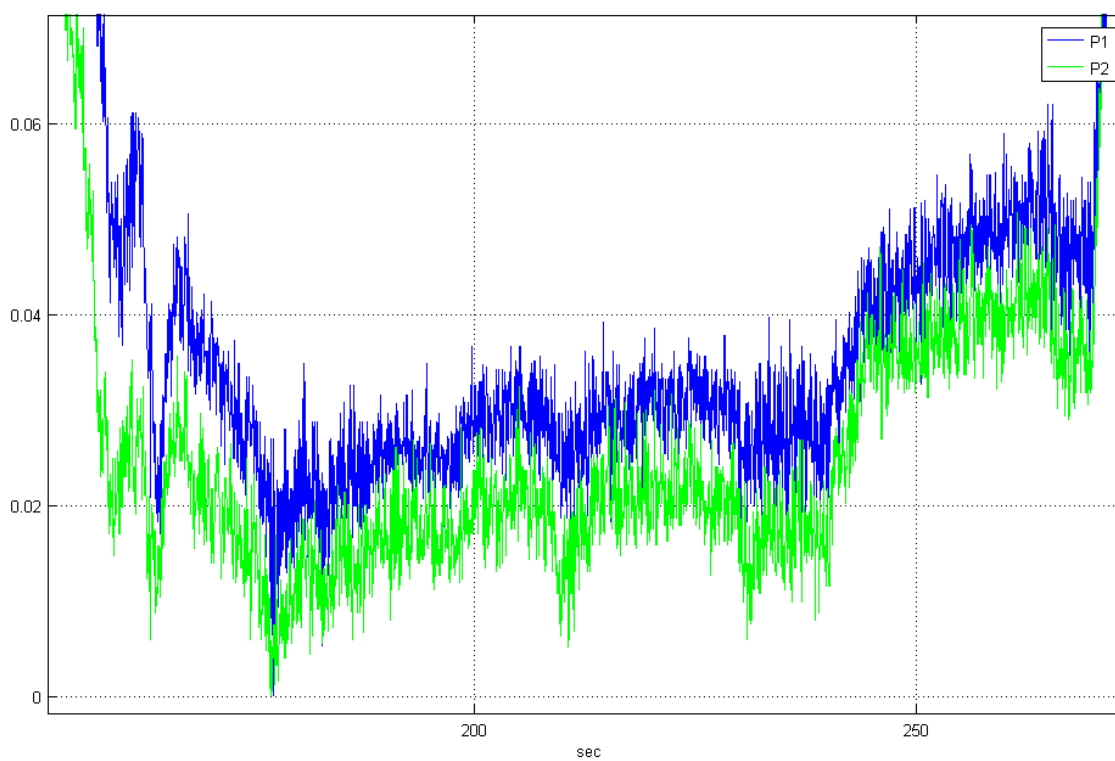


Рисунок 8. Участок 2

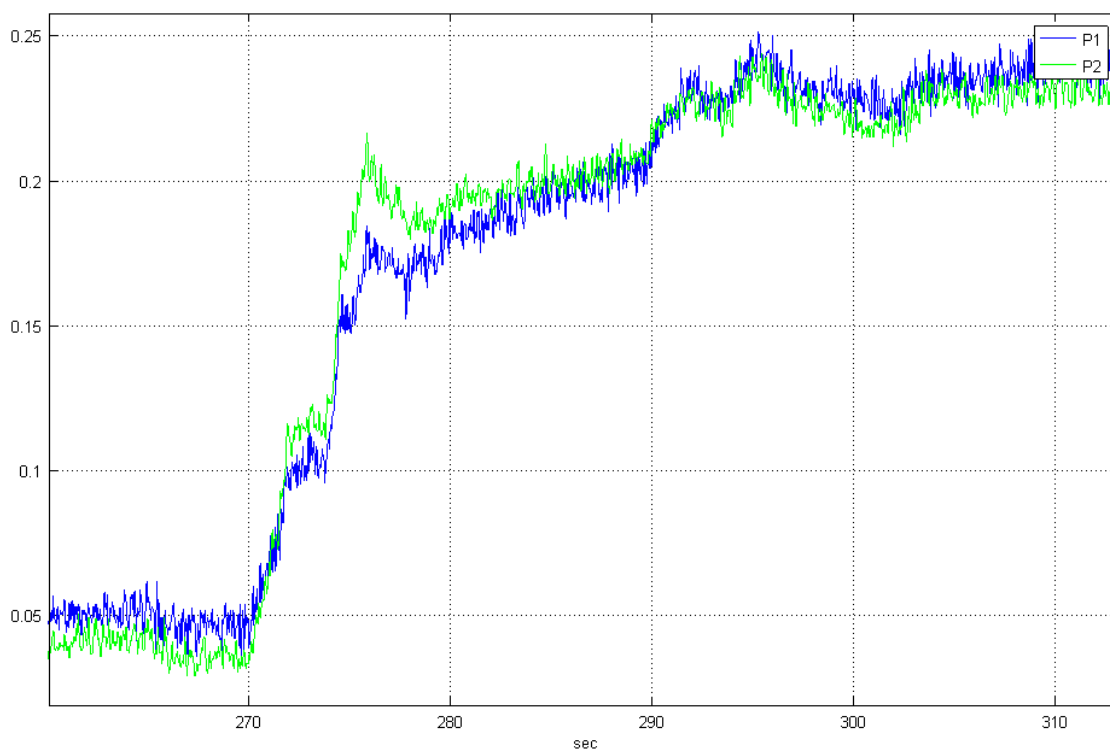


Рисунок 9. Участок 3

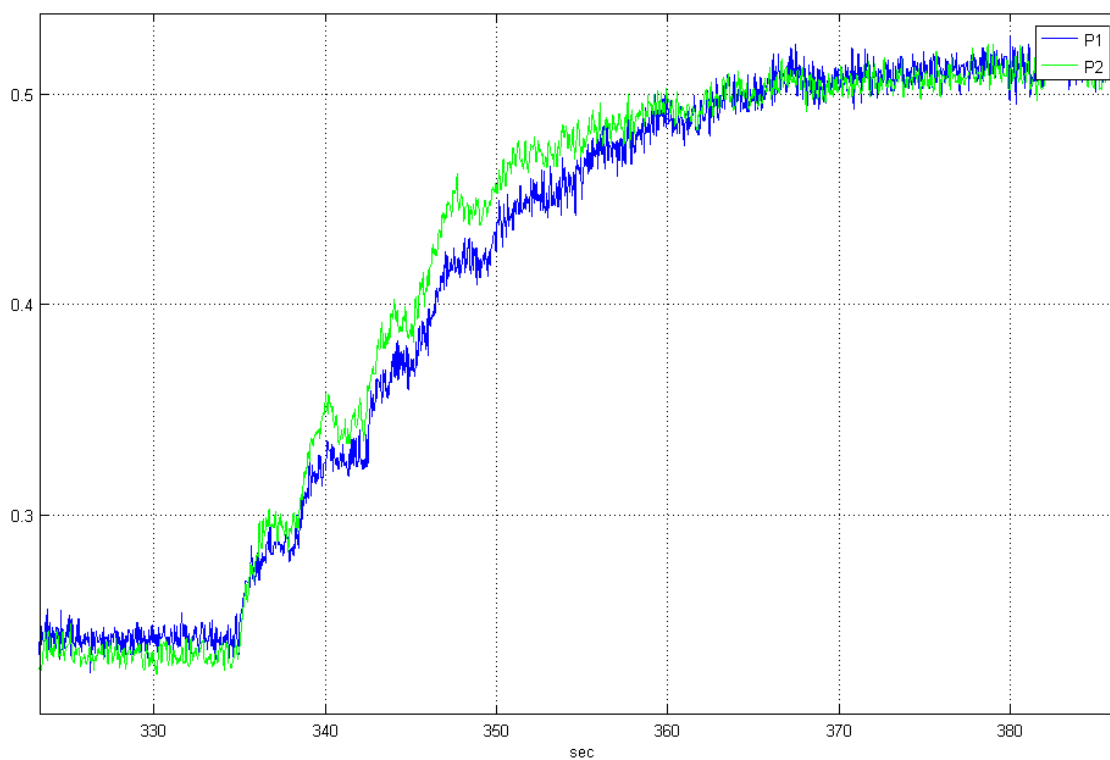


Рисунок 10. Участок 4

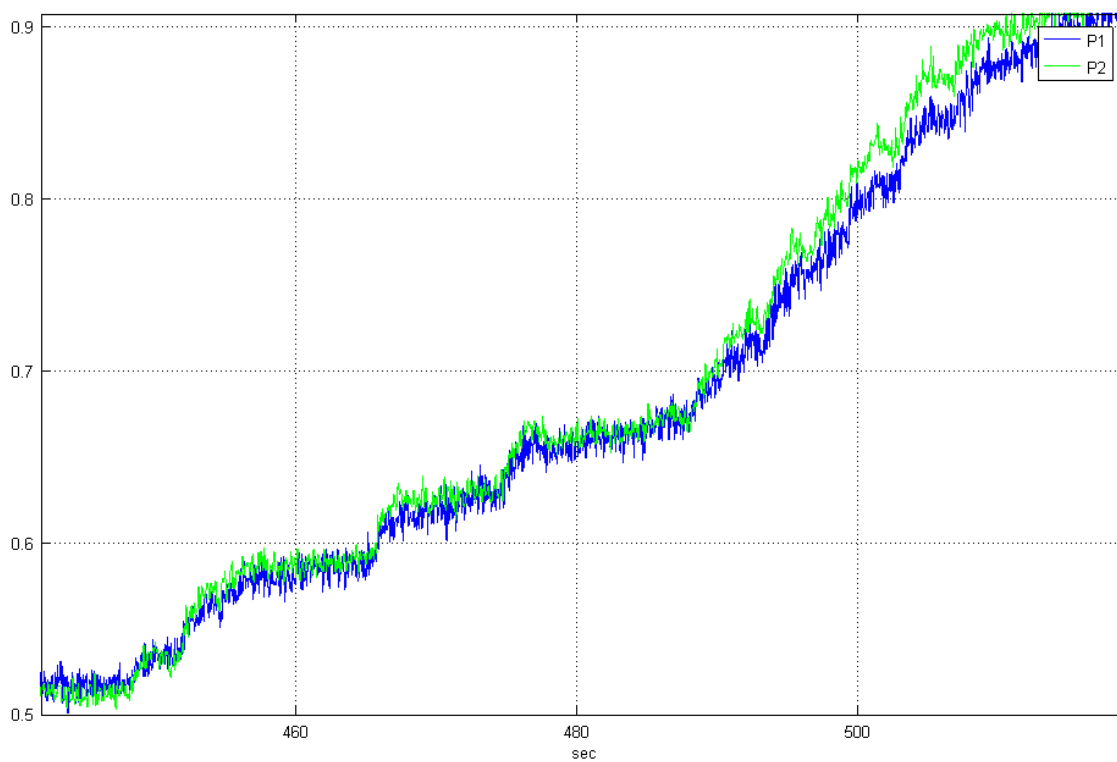


Рисунок 11. Участок 5

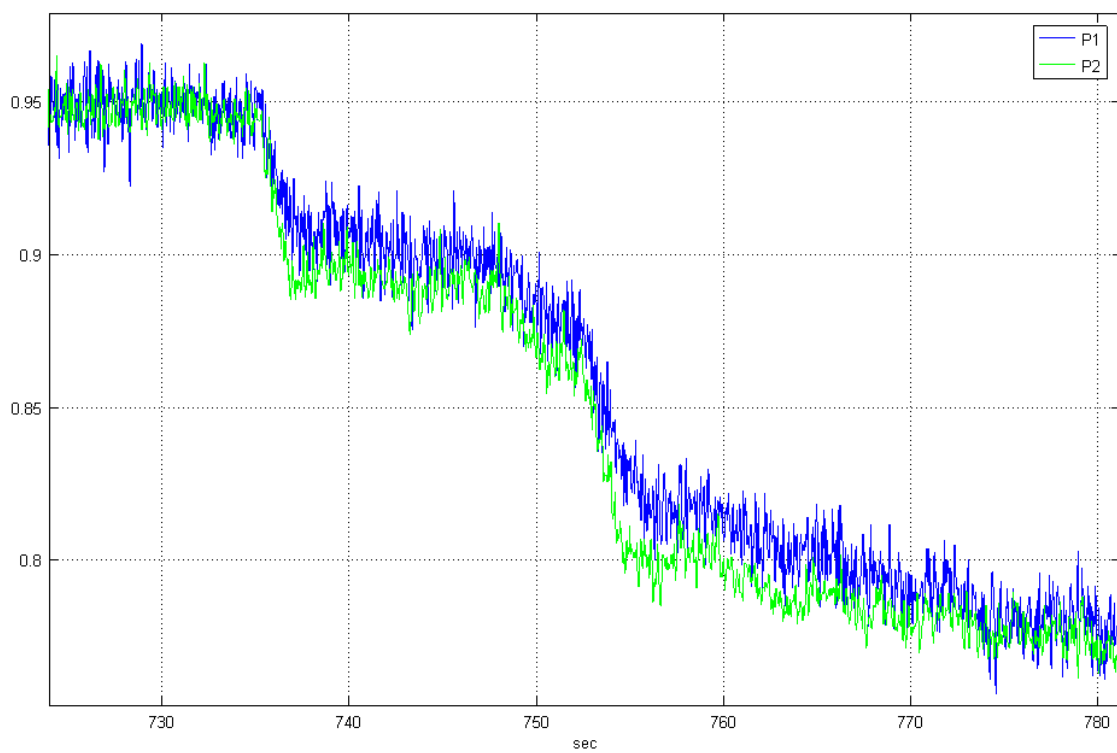


Рисунок 12. Участок 6

Визуальный просмотр выделенных участков показывает, что на графиках отсутствуют отражённые волны - каждому возмущению давления на одном графике соответствует аналогичное возмущение на втором графике. Это может свидетельствовать об отсутствии на трубопроводе каких-либо серьёзных гидравлических сопротивлений (отводы, сужения, парафиновые пробки и т. п.), что, в свою очередь, способствует возможности обнаружения утечек на данном трубопроводе методом ударных волн.

На следующем этапе анализа была проведена оценка уровня искажения фронтов ударных волн давления при прохождении по трубопроводу (расчёт проводился для нормированных и сдвинутых графиков давления в начале и конце трубопровода). Для получения этой оценки были произведены следующие действия:

- на обоих графиках были взяты данные за первые 10 секунд и для этих данных был произведён расчёт коэффициента корреляции;

- далее полученное таким образом "окно" на графиках, длительностью 10 секунд, было сдвинуто на 2 секунды вперёд и для вновь полученных участков был произведён расчёт ещё одного коэффициента корреляции;

- далее "окно" вновь было сдвинуто на 2 секунды вперёд и произведён новый расчёт;

- данная процедура повторялась до конца графиков;

- полученный таким образом график коэффициентов корреляции (маркер "**") приведён на рис. 13 (здесь же для удобства оценки приведены и сами графики давления).

На данном графике хорошо видно, что для участков, соответствующих прохождению фронтов ударных волн давления по трубопроводу, коэффициент корреляции приближается к 1. Это свидетельствует о низком уровне искажения фронтов ударных волн давления при прохождении по трубопроводу, что хорошо в общем-то видно и при визуальном просмотре приведённых участков графиков (рис. 7 - 12).

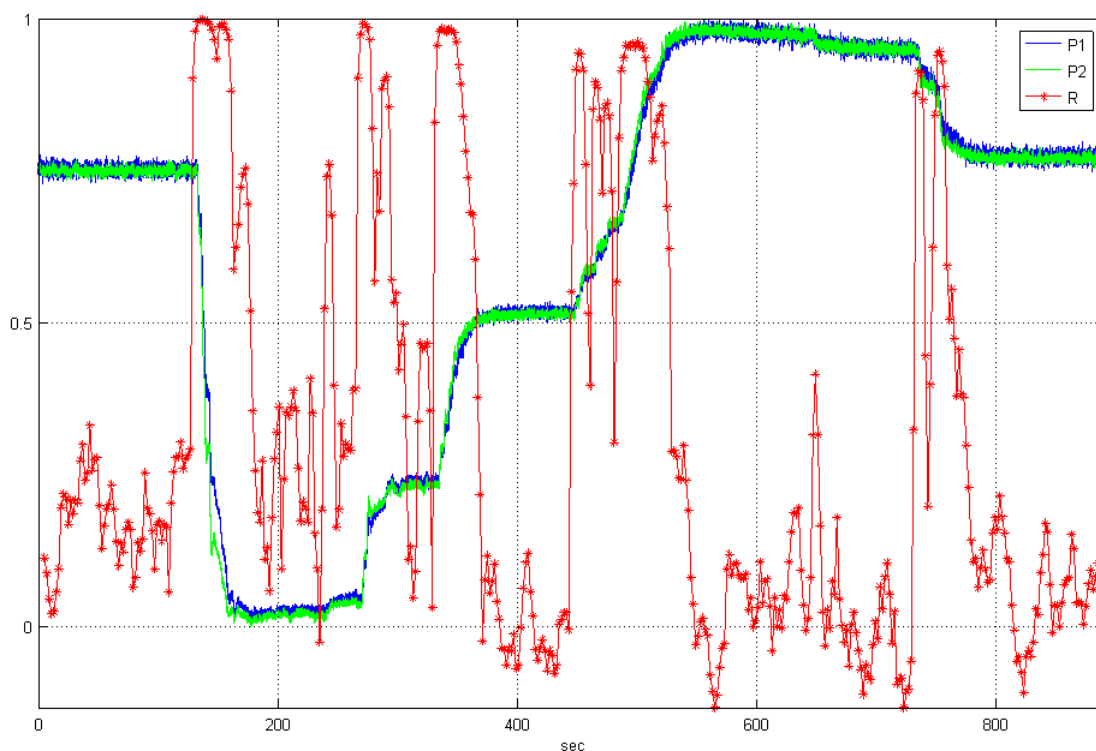


Рисунок 13. График коэффициентов корреляции

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о хорошем состоянии трубопровода и об отсутствии на данном трубопроводе каких-либо серьезных препятствий для прохождения ударных волн. К таким препятствиям могут относиться:

- самотечные участки, на которых перекачиваемая жидкость течёт не за счёт подпирания давления, а за счёт собственного веса. На таких участках продольные гидравлические волны трансформируются в поперечные, скорость которых может достигать нескольких метров в секунду;

- газовые пробки, приводящие к сильному затуханию ударных волн.

Следует отметить, что наличие таких препятствий на трубопроводе могло бы усложнить использование метода отрицательных ударных волн для обнаружения утечек. На испытуемом трубопроводе такие участки не выявлены, что в свою очередь позволяет сделать вывод о целесообразности установки системы обнаружения утечек, использующей данный метод, на данном трубопроводе.

Выводы

В ходе проведённых испытаний были получены следующие результаты:

— собственный шум датчиков значительно ниже технологического шума процесса и не вносит дополнительных искажений при регистрации давления в трубопроводе;

— время прохождения гидравлических волн давления по всему трубопроводу составляло около 9 секунд \pm 1 секунда. Полученная ошибка, вызванная использованием ручной синхронизации, приемлема для целей испытаний;

— скорость распространения гидравлических волн давления по трубопроводу составляла около 1333 \pm 150 м/с, что хорошо согласуется с теорией;

— зафиксирован низкий уровень искажений фронтов ударных волн при прохождении по трубопроводу и отсутствие отражённых волн, что делает применение системы обнаружения утечек на данном трубопроводе возможной и целесообразной;

— использованная частота регистрации в 25 Гц оказалась достаточной для достижения целей и задач испытаний и может быть повышена в работающей системе для увеличения точности определения места возникновения утечки.

Полученные результаты подтвердили возможность использования датчиков МТУ-05 для обнаружения утечек на трубопроводе методом отрицательных ударных волн.

Литература

1. Кутуков С. Е. Проблема повышения чувствительности, надежности и быстродействия систем обнаружения утечек в трубопроводах // Нефтегазовое дело, Т. 2, 2004. - С. 29-45.

2. Научно-производственное предприятие "Грант" : [сайт]. URL: <http://www.grant-ufa.ru> .

3. Научно-производственная фирма "Экситон-автоматика" : [сайт]. URL: <http://www.eksiton.ru> .

4. GNU Octave. URL: <http://www.gnu.org/software/octave/> (дата обращения 11 марта 2010).