

Методика очистки внутренних отложений трубопроводов и оборудования с применением пневмоудара

А.В. Мараховский

главный инженер¹
alexander.1107@yandex.ru

Е.О. Савельева

преподаватель «Центра проектной деятельности»
savelievaeo@gmail.com

¹ООО «Асгард сервис», Москва, Россия

²Московский политехнический университет,
Москва, Россия

В статье рассматривается методика очистки теплообменного оборудования пневмодарным способом и комбинированная обработка очищаемых поверхностей, сочетающая в себе пневмодар и химическое воздействие на внутреннюю обрабатываемую поверхность. Во время разработки методики был создан испытательный стенд, который имитировал различные режимы очистки оборудования.

Материалы и методы

Разработка методики очистки теплообменного оборудования. Создание испытательного стенда, проведение испытаний, определение экономической эффективности метода. Применение пневмопушки ПНИУ-200 в качестве генератора импульсов, сравнение теоретических данных с экспериментальными результатами.

Ключевые слова

очистка, реагент, удаление отложений, трубы, пневмоимпульс, пневмодар

Каждый год специалисты сферы теплоэнергетики, нефтепереработки, нефтехимии и транспорта нефти сталкиваются с проблемой образования асфальтосмолопарафиновых отложений (далее — АСПО), коррозий и шлама при эксплуатации теплообменного оборудования. Эта проблема является главной причиной вывода из строя даже самого современного оборудования. Также она непосредственно влияет на экономику предприятия, ведь даже небольшой слой накипи заметно снижает теплопередачу, из чего следует значительный перерасход энергоресурсов.

До сих пор многие организации прибегают к химическим, механическим, ультразвуковым и другим способам чистки оборудования [1, 2]. Такие способы, безусловно, отлично справляются со своей задачей, но в то же время несут ряд негативных последствий. Это достаточно затратные, трудоемкие и дорогостоящие процессы, требующие наличия квалифицированных специалистов, остановки оборудования и вывода его из производственного цикла, закупки дорогостоящих и опасных для окружающей среды химических реагентов, а также приводящие к физическому разрушению элементов установок.

В настоящее время специалистам в области очистки теплообменного оборудования приходится постоянно искать новые способы, которые будут оказывать минимальное негативное воздействие на окружающую среду, оборудование, персонал и сокращать затраты предприятия на ремонтные работы.

Одним из таких методов является методика очистки теплообменного оборудования пневмодарным способом или комбинированная обработка оборудования, которая сочетает в себе пневмодар и химическое воздействие [3].

Главной особенностью данного способа является то, что методика разработана для очистки технологического оборудования без его остановки или с кратковременной остановкой оборудования, что повышает эффективность работы и увеличивает межремонтный период эксплуатации. К примеру, в теплообменном аппарате греющий контур не отключается, а нагреваемый подвергается очистке с помощью временной обвязки, такой способ очистки производственники называют «на режиме». На рис. 1 приведена описанная схема очистки теплообменного аппарата.

Суть данного метода заключается в том, что к промываемому теплообменнику подключается пневмоимпульсный генератор. Он обладает способностью производить сверхбыстрые импульсные воздействия энергии воздуха (азота) в виде ударной волны на стенки труб. По своей структуре импульс имеет фазу сжатия и фазу разряжения с частотой 10–15 Гц и амплитудой не более 0,15 Гц при расстоянии от источника волны не более 5 м. В результате подобного воздействия отложения в первой фазе испытывают растяжение от избыточного давления и прижимаются к поверхности, во второй — растягиваются при уменьшении давления после прохождения ударной волны над участком отложений и отрываются от поверхности трубы за счет перепада давления в объеме [4]. Данный процесс сопровождается явлением дифракции, так как на пути волны встречаются неровности и препятствия. Перед спускным краном (исполнительным механизмом) находится обратный клапан и тройник с подключенным к нему шлангом в сепарационную емкость. На фазе разряжения основная часть отложений и воздуха скидываются в промежуточную емкость. Промежуточная емкость для сепарации шлама и отложений в процессе промывки ≈ 500 л.

Реагент добавляется в контур обратной воды дозирующим способом. Его объем определяется исходя из объема контура и с помощью замера кислотности раствора (pH) в течение реакции. Реагент вводят с помощью насоса-дозатора и шлангов, а количество определяется расчетом.

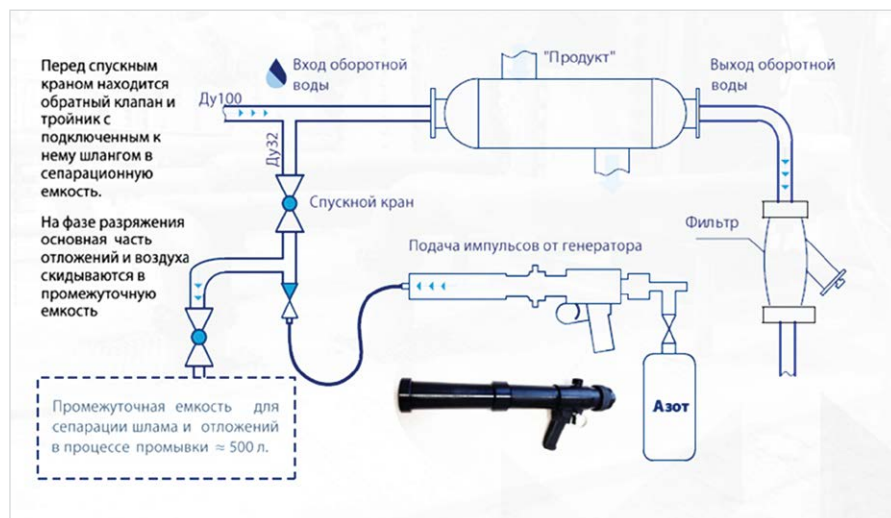


Рис. 1 – Схема очистки трубопровода
Fig. 1 – Pipeline cleaning circuit

Подача сжатого азота производится через специальное устройство типа пневмопушки, подключенное к баллону с азотом. Предварительно растворив и размягчив отложения в течении двух-трех часов, проводится серия пневмоударов в контур очищаемого аппарата либо устройства, вследствие чего в фильтре системы или в промежуточной емкости осаждаются отслоившиеся фрагменты отложений. Проводится мониторинг по параметрам температур до и после воздействия химии и азота. На протяжении всего времени воздействия кислотной или щелочной среды на отложения, проводится анализ уровня pH в рабочем контуре и поддерживается в пределах 1,5–2,5 pH по кислоте и 11–13 pH по щелочным растворам до окончания очистки. После проведения очистки контур оборотной воды нейтрализуется и частично сливается при постоянном обновлении через подпиточную линию и доводится до средних значений (6–8 pH). При работе с растворителями контролируется его насыщение.

Реагент, применяемый для данной очистки, подбирается на основании анализа по оборотной воде и состава отложений, а также на основании натурных испытаний с образцами отложений.

В качестве химического реагента в нефтепереработке чаще всего используются растворители АСПО. Основной очищающий эффект концентрируется на пневмоударе в сопровождении волны с большой кинетической энергией и колебаниями материала теплообменной поверхности и расклинивания отложений через микропоры и трещины.

Необходимые условия для проведения работ по рассматриваемой методике:

- герметичность теплообменного аппарата, оборудования;
- заполненный контур;
- наличие места для выхода азота (мокрая градири, воздухоотделитель);
- место подключения перед теплообменником по ходу оборотной воды (Ду 20–50);
- место подключения дозатора;
- уловитель шлама и растворенных отложений (емкость градири, фильтр);
- напряжение 220–380 В;
- высокая мощность циркуляционного насоса во временной обвязке;
- точка подключения по воде;

- место для установки оборудования;
- точка слива отработанного и нейтрализованного реагента;
- возможность соединения емкости градири и дозирующей емкости через шланг с насосом.

Во избежание падения давления в системе во время частичного слива отработанного реагента, необходимо следить за параметрами давления и подпитывать систему до рабочих значений. Все оборудование, которое не влияет на работу системы (емкости, коллектора, теплообменники) и не задействовано, следует отключить с целью уменьшения объема контура и исключения его засорения.

Перед формированием методики были проведены испытания в области воздействия пневмоимпульса на внутреннюю поверхность в разных режимах его волнового эффекта с применением программного обеспечения и датчиков.

Одной из главных задач эксперимента являлось измерение воздействия энергии азота по мере удаления от источника в различных режимах и замеры параметров воздействия. Проводились испытания в режимах: пневмовзрыва без воды, пневмовзрыва с давлением 35 кг/см² с водой в системе, удерживаемой мембранами и пневмовзрыва с давлением 45 кг/см² с водой в системе, удерживаемой мембранами. По полученным показаниям сформирован отчет.

Примером реализации описываемого метода являлись результаты испытаний установки пневмовзрыва, проводимые на технической базе в г. Королев, с устройством меньшего (1 литр) рабочего объема камеры (ресивера).

Регистрация давлений производилась с помощью двух пьезоэлектрических датчиков давления типа T500-2, подключенных к специально предназначенному для такого типа датчиков преобразователю Нейва-2К. Регистрация сигналов осуществлялась цифровым запоминающим осциллографом TektronixTDS 2014, подключенным с помощью контроллера GPIB-USB к переносному компьютеру для записи сигналов. Считывание и масштабирование сигналов датчиков выполнено с помощью программной оболочки LabVIEW в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации прибора Нейва-2К.

Выходное напряжение преобразователя заряда определяется как:

$$U = Q/C,$$

где Q – заряд пьезоэлектрического датчика, пКл, C – емкость конденсатора обратной связи, пФ.

Заряд датчика

$$Q = P \cdot \gamma,$$

где P – давление, кг/см², γ – чувствительность датчика, пКл/(кг/см²).

Напряжение калибровки

$$U = \frac{P \cdot \gamma}{C_k},$$

где C_k – емкость калибровочного конденсатора.

При масштабировании значения чувствительности датчиков γ и емкости калибровочного конденсатора C_k брались из формуляров на соответствующие датчики и преобразователь Нейва-2К. Синхронизация записи производилась от пульта управления электропневмоклапаном по появлению напряжения управления. При регистрации сигналов наблюдались значительные электрические помехи. Обработка результатов, заключающаяся в фильтрации помех и последующем построении графиков, производилась с помощью программного обеспечения DIAdem.

По результатам обработки показаний датчиков выявлено следующее [5]:

- при работе установки (на азоте) без воды и мембраны, датчик, установленный на расстоянии 1260 мм от фланца трубы, зафиксировал незначительное давление с амплитудой порядка 1 кг/см² (рис. 2а);
- при работе установки с водой и мембраной толщиной 30 мкм при давлении азота 35 кг/см², датчик, расположенный на расстоянии 640 мм от фланца, регистрировал давление с амплитудой 1,2–1,5 кг/см². Датчик, расположенный на расстоянии 1260 мм от фланца, регистрировал давление с амплитудой 4,2–5,5 кг/см². При этом нарастание давления начиналось примерно через 0,08 сек. после появления управляющего напряжения электропневмоклапана, а спад давления происходил в течение 1 секунды. В двух экспериментах был замечен второй пик давления с амплитудой 3,0–3,3 кг/см² (рис. 2б);
- при работе установки с водой и мембраной

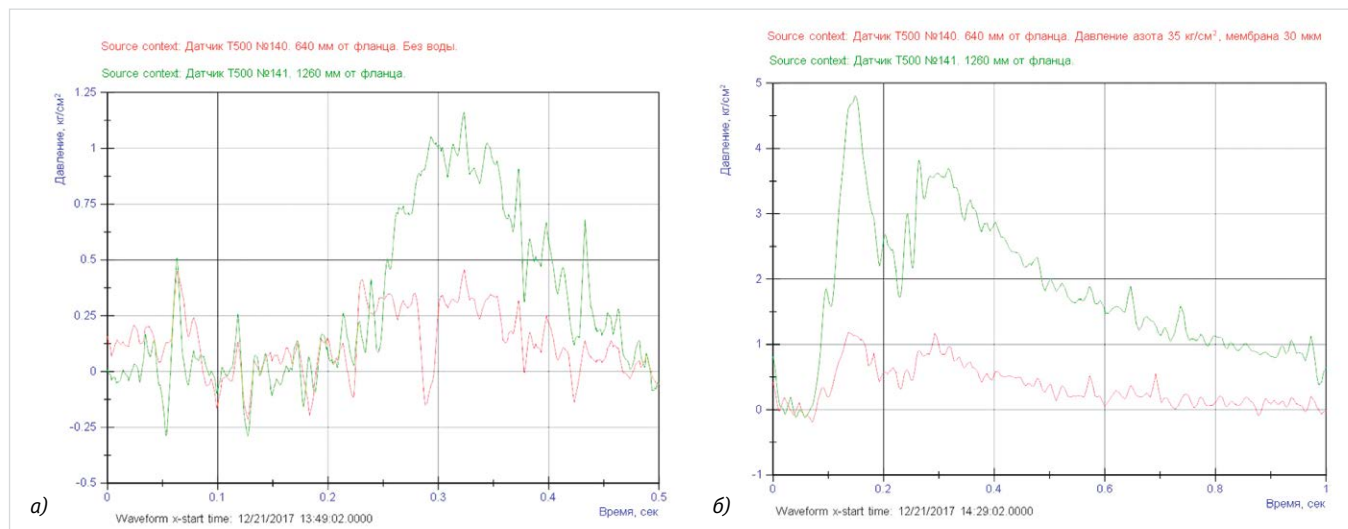


Рис. 2 – Показания датчиков
Fig. 2 – Sensor readings

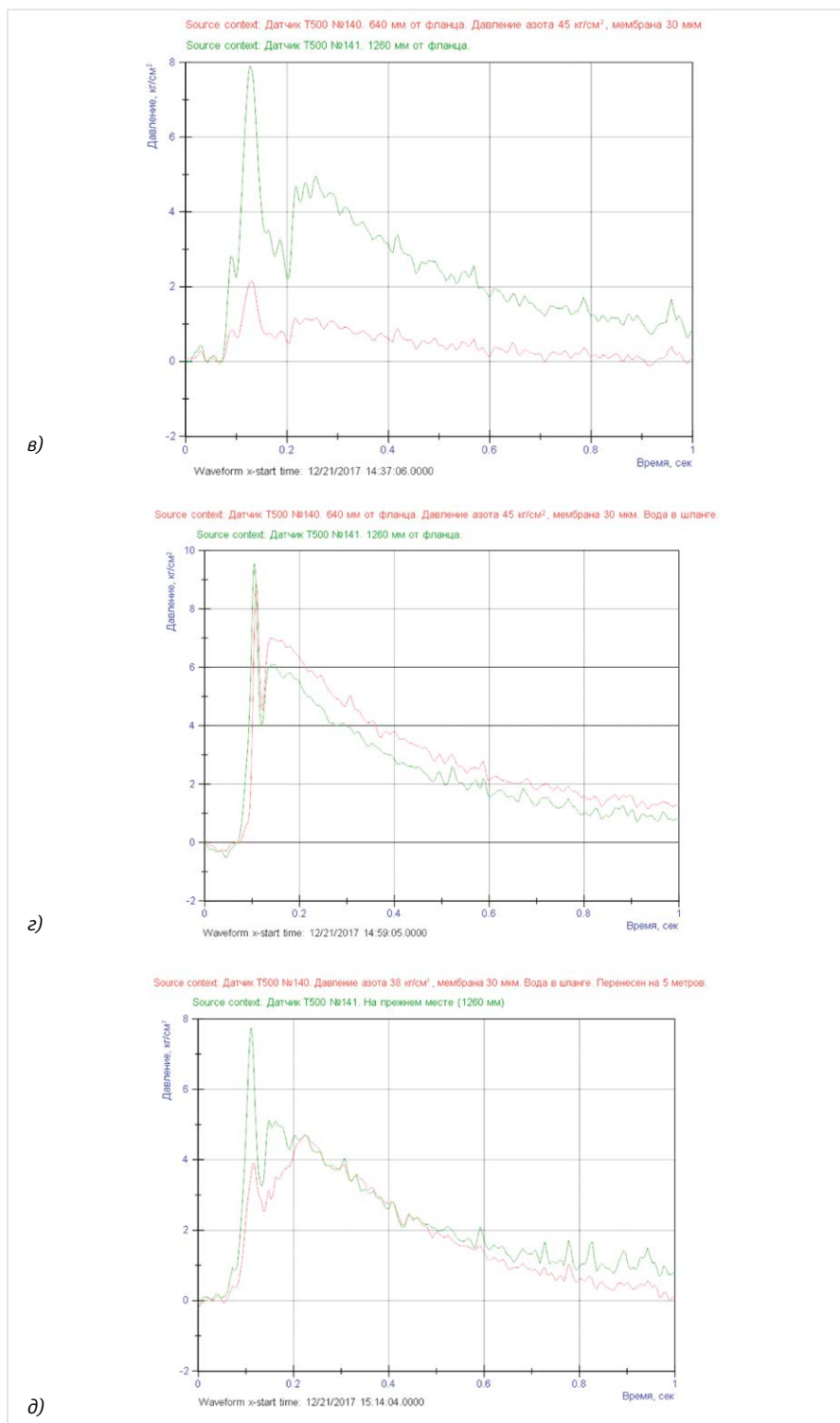


Рис. 2 – Показания датчиков
Fig. 2 – Sensor readings

Быстродействующий клапан	КБ-40-70
Рабочая среда	сжатый воздух или инертный газ
Эффективный диаметр проходного сечения основного канала	40 мм
Время открытия основного клапана	не более 0,01 сек
Время от начала подачи электрического сигнала до начала открытия главного клапана	не более 0,03 сек
Диапазон рабочих давлений на входе	0,1–0,7 МПа
Диапазон температур окружающей среды	+5°С – +65°С
Наработка на отказ	не менее 500 000 пусков
Габаритные размеры	Ø30 мм, длина 1000 мм
Вес со стволом и пневмоэлектроклапаном	18 кг

Таблица — Основные характеристики пневмоимпульсного устройства (ПНИУ-200)
Table — Main characteristics of pneumatic impulse device (PNIU-200)

толщиной 30 мкм при давлении азота 45 кг/см², датчик, расположенный на расстоянии 640 мм от фланца регистрировал давление с амплитудой 1,5–2,0 кг/см². Датчик, расположенный на расстоянии 1260 мм от фланца, регистрировал давление с амплитудой 5,5–7,9 кг/см². При этом отчетливо заметен второй пик давления примерно через 0,1 сек. после первого с амплитудой 4,5–5,2 кг/см² (рис. 2в);

- при эксперименте с теми же параметрами шланг, подводящий газ к трубе, был заполнен водой, что привело к значительному отличию. Оба датчика зарегистрировали почти одинаковые кривые с двумя пиками давления и амплитудами первого пика 8,7 и 9,6 кг/см² и второго пика 7,0 и 6,2 кг/см² соответственно (рис. 2г);
- при работе установки на давлении азота 38 кг/см² с водой в шланге и переносе точки замера с 640 мм на 5 метров от фланца датчик, расположенный в 1260 мм от фланца, зарегистрировал первый пик давления на уровне 7,8 кг/см² и второй пик на уровне 5,0 кг/см² примерно через 0,08 сек. Датчик, расположенный на расстоянии 5 метров от фланца, зарегистрировал первый пик на уровне 3,9 кг/см² и второй пик на уровне 4,5 кг/см² примерно через 0,12 с (рис. 2д).
Во всех случаях спад давления происходил через 1 секунду.

По итогам испытаний можно сделать следующие выводы:

- пневмоудар при работе с незаполненным оборудованием неэффективен;
- по мере удаления от источника импульса воздействие волны на оборудование увеличивается;



а)



б)

Рис. 3 – Работы по чистке пластинчатого теплообменника X-1/2:

а) общий вид теплообменника;

б) процесс очистки пневмоимпульсным методом

Fig. 3 – X-1/2 plate and frame heat exchanger cleaning operations:

а) heat exchanger main view;

б) process of pneumatic impulse cleaning method

- во всех случаях кроме пустой камеры присутствует повторный эффект волнообразования;
- в случае заполнения средой (водой) не только оборудования, но и соединения с пневмоклапаном (шланг), воздействие усиливается на 15–20%.

В период с 05.10.2017 г. по 06.10.2017 г. на территории ООО «РН-Комсомольский НПЗ» были проведены работы по чистке пластинчатого теплообменника X-1/2 установки ЭЛОУ-АВТ-3, используемого для охлаждения паров прямогонного бензина колонны К-1, с помощью технологии пневмоимпульсов (рис. 3а, 3б) [6].

Необходимость проведения работ по очистке пластин теплообменника X-1/2 установки ЭЛОУ-АВТ-3 была обусловлена наличием отложений на внутренней полости кассеты пластин, что приводило к высокому значению давления и плохой конденсации паров «шлемового» потока атмосферной колонны К-1. В результате выполненных работ внутренняя полость кассеты пластин теплообменника X-1/2 установки ЭЛОУ-АВТ-3 очищена от отложений, восстановлена нормальная работа оборудования.

После ввода пластинчатого теплообменника X-1/2 в эксплуатацию наблюдается незначительное снижение давления в атмосферной колонне К-1.

Преимущества данного метода:

- возможность подачи импульсов (очистки) на режиме без отключения контура;
- экологически безопасен;

- возможность сочетания двух методов: реагентной химической обработки и гидрокислотной промывки;
- идеально подходит для вязких отложений;
- продолжительность очистки от 2 часов;
- в случае остановочного ремонта не требует демонтажа трубных пучков, что сокращает трудоемкость ремонта и его сроки;
- не оказывает коррозионного воздействия на поверхность металлов;
- подходит для отложений из песка и ила.

Недостатки данного метода:

- требуется принятие мер по спуску воздуха из системы;
- метод не эффективен при крайне твердых отложениях;
- требуется принятие мер по очистке фильтра, расположенного после промываемого оборудования.

Итоги

Серия экспериментов показала, что воздействие волны после выстрела имеет различную степень по мере удаления от источника с тенденцией увеличения, присутствует повторное волнообразование. Пневмовыстрелы в незаполненное оборудование с целью очистки не эффективны. Способ может использоваться для очистки труб с различным внутренним объемом и оборудования без полной остановки во многих отраслях энергетики, таких как нефтегазодобыча, нефтепереработка, транспорт нефти, химические производства и другие.

Выводы

Внедрение данной технологии позволит уменьшить затраты на ремонт теплообменного оборудования, сократить затраты на дорогостоящие реагенты. Метод безопасен для окружающей среды и не оказывает механического воздействия на стенки теплообменных поверхностей.

Список литературы

1. СТП 09110.37.409-09. Стандарт ГПО «Белэнерго». Проведение механических и химических очисток теплообменников. Введен с 01.11.2009. Минск: РУП «БелТЭИ», 118 с.
2. РД 34.37.402-96. Типовая инструкция по эксплуатационным химическим очисткам водогрейных котлов. Введен с 01.10.1997. М.: СПО ОРГРЭС, 41 с.
3. РД 153-34.1-37.410-00. Методические указания по безреагентным способам очистки теплообменного оборудования от отложений. Введены с 01.01.2006. М.: АООТ ВТИ, 23 с.
4. Соловьянова И.П., Шабунин С.Н. Теория волновых процессов: акустические волны. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 2004. 142 с.
5. Серрин Дж. Математические основы классической механики жидкости. М.: Иностранная литература, 1963. 256 с.
6. Теплообменник «Компabлок». Инструкция по эксплуатации. Альфа Лаваль, 38 с.

ENGLISH

PIPELINE

Pneumatic impact method of cleaning of internal pipeline and equipment deposits

UDC 622.692.4

Authors:

Aleksandr V. Marakhovskiy — head engineer¹; alexander.1107@yandex.ru

Ekaterina O. Savel'eva — teacher of Project activity center²; savelievaeo@gmail.com

¹LLC Asgard service, Moscow, Russian Federation

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article reviews a pneumatic impact method of cleaning of the heat exchange equipment, and a combined treatment of the surfaces to be cleaned with pneumatic impact and chemical treatment of the internal surfaces. A test bed was created to imitate different modes of equipment cleaning when developing the method.

Materials and methods

Development of the cleaning method for the heat exchange equipment. Creation of the test bed, testing, determination of the method

economic efficiency. Using air gun PnIU-200 as an impulse generator, comparison of theoretical data with experimental results.

Results

A row of experiments has shown that the wave impact after the shot tends to increase while moving from the source; repeated wave generation occurs.

Pneumatic shots to the unfilled equipment is not efficient for cleaning. The method can be used to clean the pipes and the equipment without their total shutdown with different internal volume in certain power industries such as oil and

gas production, oil refining, oil transportation, chemical production and others.

Conclusions

Implementing this technology allows reducing expenses on the repair of the heat exchange equipment, cut expenses on the expensive reagents; the method is environmentally safe, and does not have mechanical effect on the walls of the heat exchanging surfaces.

Keywords

cleaning, reagent, removal of deposits, pneumatic impulse, pneumatic impact

References

1. СТП 09110.37.409-09. *Standart GPO «Belenergo»*. *Provedenie mekhanicheskikh i khimicheskikh ochistok teploobmennikov* [Standard of State Production Association «Belenergo». Mechanical and chemical cleaning of heat exchangers]. Entered since 01.11.2009. Минск: РУП «БелТЭИ», 118 p.
2. РД 34.37.402-96. *Tipovaya instruktsiya po ekspluatatsionnym khimicheskim ochistkam vodogreynykh kotlov* [Standard Operating Procedure for the operating chemical cleaning of hot water boilers]. Entered since 01.10.1997. Moscow: SPO ORGRES, 41 p.
3. РД 153-34.1-37.410-00. *Metodicheskie ukazaniya po bezreagentnym sposobam ochistki teploobmennogo oborudovaniya ot otlozheniy* [Methodical guidelines for reagentless method of cleaning heat exchange equipment from the deposits]. Entered since 01.01.2006. Moscow: АООТ ВТИ, 23 p.
4. Solov'yanova I.P., Shabunin S.N. *Teoriya volnovykh protsessov akusticheskikh voln* [Wave process theory. Acoustic waves]. Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2004. 142 p.
5. Serrin Dzh. *Matematicheskie osnovy klassicheskoy mekhaniki zhidkosti* [Mathematical fundamentals of classical fluid mechanics]. М.: *Inostrannaya literatura*, 1963, 256 p.
6. *Teploobmennik «Kompablock»*. *Instruktsiya po ekspluatatsii* ['Kompablock' heat exchanger. User instruction]. Alfa Laval, 38 p.