

# Способ автономного дозирования химических реагентов в условиях отсутствия развитой инфраструктуры

**А.В. Северюхин**  
инженер-конструктор<sup>1</sup>  
ti\_37@mail.ru

**А.Н. Блябляс**  
ведущий инженер<sup>2</sup>  
Sas5939@yandex.ru

**В.Н. Григорьев**  
инженер<sup>2</sup>  
VNGrigorev@udmertneft.ru

<sup>1</sup>ООО «Ижевский крановый завод», Ижевск, Россия

<sup>2</sup>ЗАО «Ижевский нефтяной научный центр», Ижевск, Россия

**Несмотря на постоянное развитие технологий, альтернативных способов защиты и химизации всех производственных процессов, внутренняя коррозия трубопроводов остается ключевой проблемой для управления эксплуатацией трубопроводов всех нефтедобывающих организаций. Авторами разработано автономное устройство для постоянной подачи требуемого объема концентрированного реагента в трубопровод, без привязки к инфраструктуре, дорогам и линиям электропередач. Основной сегмент рынка для разработанного устройства — районы с отсутствием развитой инфраструктуры, отсутствием линий электропередач и подъездных путей, а так же во время сезонного бездорожья.**

## Материалы и методы

Средства автоматизированного проектирования ANSYS и ASPEN Hysys, гидравлический расчет устройства, расчет перепадов давлений и скорости подачи реагента из контейнера, испытательный стенд, лабораторные и полевые испытания по замеру скорости расхода химического реагента.

## Ключевые слова

трубопроводный транспорт, коррозия, дозирование реагента, устройство подачи реагента

## Введение

Адаптация к новым технологиям, внедрение устройств, усовершенствование методов работы в нефтяной и газовой промышленности происходит очень медленно, это связано с высокими требованиями как к самим устройствам, так и к технологическим процессам в данных видах промышленности. В связи с этим распространенные проблемы, в том числе преждевременный износ оборудования, могут решаться десятками лет, приводя к серьезным экологическим, материальным и временным потерям.

Согласно данным Минприроды России на 2018 год, число аварий на объектах транспортировки нефти ежегодно достигает порядка 25 тысяч инцидентов, в результате чего около 1,5 млн. тонн нефти поступает в окружающую среду. Для сравнения, это примерно в 2 раза больше, чем объем разлива нефти в Мексиканском заливе в 2010 году в результате аварии на платформе British Petroleum. Большая часть аварий, безусловно, связана с коррозионным износом. Несмотря на постоянное развитие технологий, альтернативных способов защиты и химизации всех производственных процессов, внутренняя коррозия трубопроводов остается ключевой проблемой для Управления эксплуатации трубопроводов всех нефтедобывающих организаций.

Авторами разработано автономное устройство для постоянной подачи требуемого объема концентрированного реагента в трубопровод, без привязки к инфраструктуре, дорогам и линиям электропередач. Устройство обеспечивает защиту трубопроводов за счет размещения в корпусе устройства быстросъемного контейнера с концентратом ингибитора коррозии или другого химического реагента. Клапан на корпусе устройства позволяет осуществлять обслуживание, интенсивность дозирования и периодическую смену контейнера без остановки трубопровода. Средствами автоматизированного проектирования ANSYS и ASPEN Hysys был выполнен гидравлический расчет устройства, рассчитаны перепады давлений и скорость подачи реагента из контейнера.

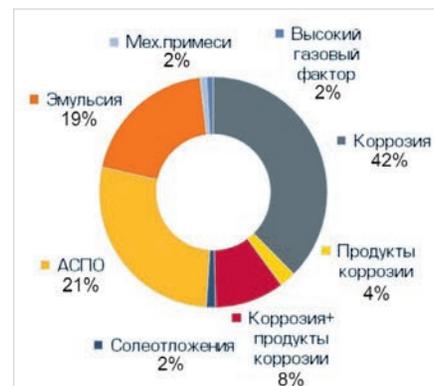


Рис. 1 — Структура осложненного фонда скважин ОАО «Удмуртнефть»  
Fig. 1 — Structure of the complicated well stock of OJSC Udmurtneft

Для проверки работоспособности теории автором был сконструирован испытательный стенд, проведены лабораторные и полевые испытания по замеру скорости расхода химического реагента.

В июле-сентябре в ЗАО «Ижевский нефтяной научный центр» проведены лабораторные и полевые испытания. В июне 2018 года ОАО «Удмуртнефть» поддержало инициативу по проведению опытно-промышленных испытаний на внутривысочных трубопроводах установки подготовки нефти.

Конструкция устройства обеспечивает размещение в быстросъемном контейнере от 25 до 300 кг концентрированного реагента. Принимая во внимание действующие эффективные дозировки рабочих растворов — периодичность заправок разработанного дозатора может варьироваться от месяца до полу года, в зависимости от вида реагента, объема обрабатываемой жидкости и эффективной дозировки.

Данная технология подачи химических реагентов может быть успешно реализована не только в нефтяной, газовой или угольной промышленности, а также в бытовых условиях, работе жилищно-коммунального хозяйства, системах водоснабжения и других



Рис. 2 — Последствия коррозионных разрушений  
Fig. 2 — Consequences of corrosion damage

коммуникациях. Основным сегмент рынка для разработанного устройства — районы с отсутствием развитой инфраструктуры, отсутствием линий электропередач и подъездных путей, а также во время сезонного бездорожья.

#### Актуальность работы

Ежегодно нефтегазодобывающие организации несут многомиллионные убытки, связанные с предотвращением коррозионного износа и ликвидацией порывов на трубопроводном транспорте. Одним из ключевых отказов трубопроводного транспорта является внутренняя коррозия, кроме того, этот осложняющий фактор является основным в структуре осложненного фонда добывающих скважин всех «зрелых» нефтедобывающих компаний, таких как ОАО «Удмуртнефть» (рис. 1).

Цель работы: повышение эффективности защиты трубопроводного транспорта от внутренней коррозии.

#### Задачи работы:

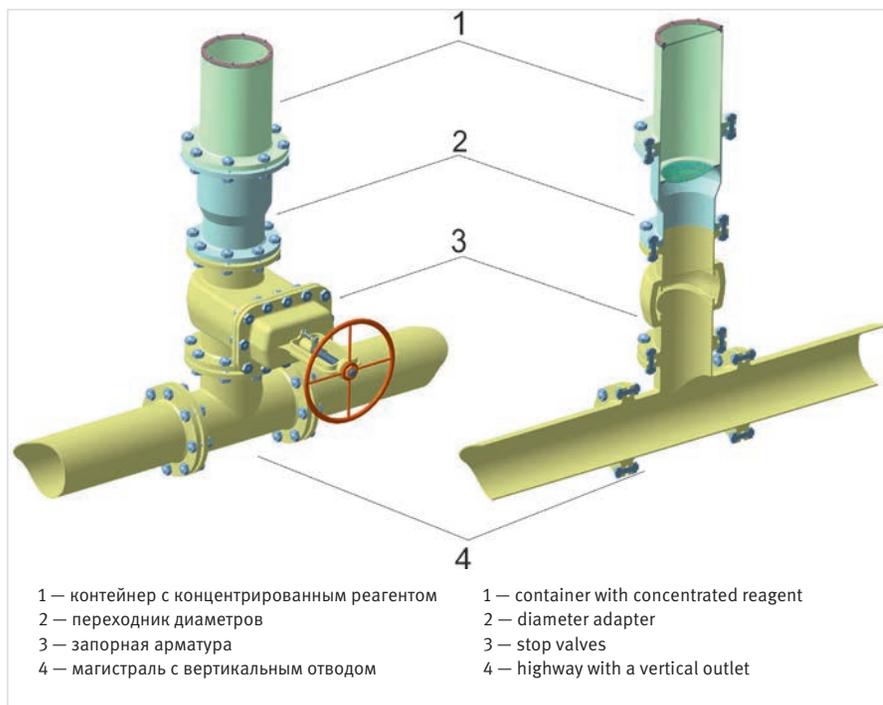
- анализ существующих методов и средств защиты оборудования от коррозии;
- разработка автономного устройства для дозированной подачи реагента в трубопровод;
- проведение прочностных, гидравлических расчетов, описание математической модели;
- создание лабораторного образца и проведение испытаний;
- проведение опытно-промышленных испытаний на производственных объектах.

На сегодняшний день существует множество технологий и технических устройств, способных замедлить или предотвратить коррозионный износ.

К основным методам относят:

- периодическая или постоянная закачка химических реагентов;
- электрохимические методы;
- применение защитных покрытий и материалов, стойких к коррозии.

Безусловно, каждая из технологий обладает своими достоинствами и недостатками. Тем не менее, разнообразие технологий не позволяет в полной мере уйти от порывов на некоторых участках трубопроводов (рис. 2) [1]. Это вызвано отсутствием развитой инфраструктуры, отсутствием линий электропередач для подключения дозирочных устройств, отсутствием подъездных путей в осенне-весенний и паводковый период.



1 — контейнер с концентрированным реагентом  
2 — переходник диаметров  
3 — запорная арматура  
4 — магистраль с вертикальным отводом

1 — container with concentrated reagent  
2 — diameter adapter  
3 — stop valves  
4 — highway with a vertical outlet

Рис. 3 — Устройство подачи реагента  
Fig. 3 — Reagent dispenser

#### Возникновение идеи

При конструировании автономного устройства для дозированной подачи реагента необходимо проанализировать рынок технологий защиты нефтепромыслового оборудования и выделить положительные и отрицательные стороны (таб. 1).

Объединение преимуществ устройства дозирования реагента и погружного скважинного контейнера — главная цель при создании нового устройства для защиты нефтепромыслового оборудования.

#### Описание устройства

Устройство для дозированной подачи реагента (рис. 3) состоит из следующих основных элементов: тройник трубный фланцевый с турбулизатором потока жидкости, задвижка трубная шибберная, корпус для размещения контейнера с концентрированным реагентом, контейнер для размещения химического реагента, верхняя крышка из прозрачного оргстекла для контроля наличия реагента (рис. 4), съемная дозирующая сетка для изменения объема подачи реагента (рис. 5).

Устройство работает следующим

образом: в контейнер со съемной крышкой осуществляется загрузка концентрата химического реагента в твердом, гелеобразном или гранулированном виде. Контейнер устанавливается в корпус устройства через резиновую прокладку при помощи болтового соединения. Съемная перфорированная металлическая сетка на дне контейнера обеспечивает постоянное дозирование и подачу растворенного реагента в поток поступающей жидкости. Различные диаметры отверстий в съемных перфорационных сетках обеспечивают различную интенсивность вымывания и подачу химии различных агрегатных состояний. В зависимости от условий эксплуатации и периодичности обслуживания устройства допускается монтаж съемных контейнеров с различными объемами концентрата. Кроме того, регулирование интенсивности циркулирующей среды и вымыв реагента может осуществляться клапаным устройством или запорной арматурой.

Запорная арматура обеспечивает быструю герметизацию устройства при замене контейнера или заправке реагентом, без остановки основной линии трубопровода.

Устройство дозирования реагента (УДР)	Погружной скважинный контейнер	Трубы с защитными покрытиями	Протекторная анодно-катодная защита
Преимущества			
Возможность заправки, длительное дозирование, широкий выбор нефтепромысловых химии	Стабильное насыщение пластовой жидкости нефтепромысловыми химией, минимальное влияние человеческого фактора, независимость от инфраструктуры	Высокая степень защиты трубопроводов от коррозии	Высокая степень защиты трубопроводов от коррозии
Недостатки			
Зависимость от инфраструктуры, частое обслуживание, трудоемкий монтаж	Невозможность своевременной заправки (только при подъеме оборудования), узкая область применения, невозможность ремонта контейнера	Высокая стоимость, небольшой рынок производителей, подверженность к механическим повреждениям	Зависимость от инфраструктуры, малый радиус действия защиты

Таб. 1 — Анализ рынка технологий защиты нефтепромыслового оборудования  
Tab. 1 — Analysis of the market of technologies for the protection of oilfield equipment

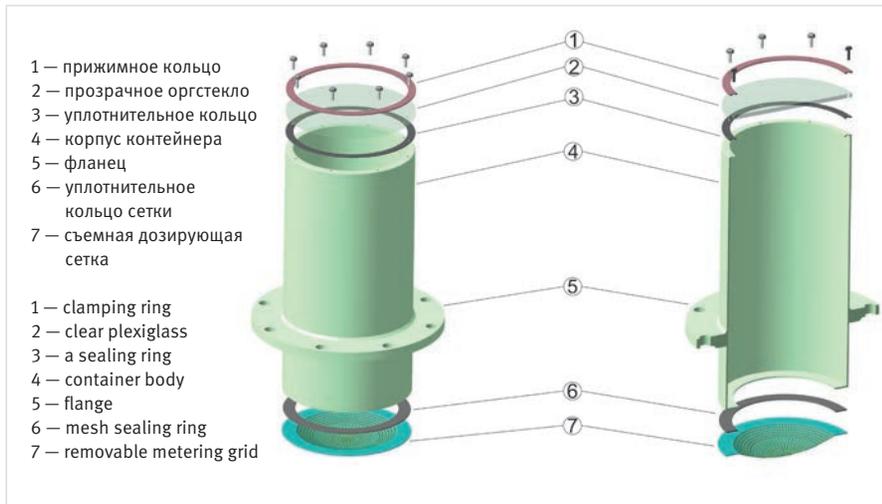


Рис. 4 — Общий вид дозирующего устройства  
Fig. 4 — General view of the metering device

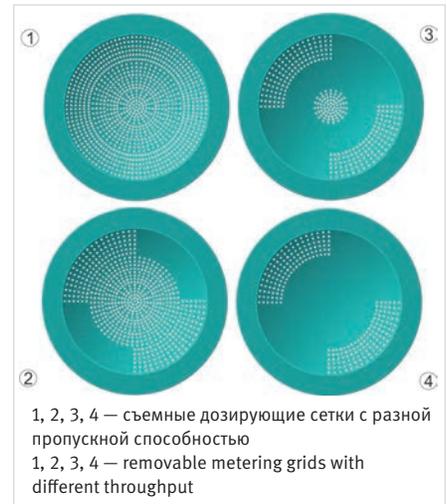


Рис. 5 — Дозирующие сетки  
Fig. 5 — Dosing grids

### Проведение расчетов с помощью систем автоматизированного проектирования

После разработки модели устройства и определения необходимых параметров были проведены расчеты с использованием САПР. В комплекс расчетов входили: моделирование направлений потока жидкости, проходящей через контейнер и определение

интенсивности обогащения проходящей жидкости реагентом (рис. 6); гидравлический расчет внутренней части устройства и построение точек потери давления в разных участках (рис. 7). Для получения более полной картины была проведена симуляция работы устройства (рис. 8)

В результате проведенных расчетов и

моделирования подтвердилась полная работоспособность устройства, а также выявлены алгоритмы, позволяющие подбирать сечение дозирующей сетки и ее пропускную способность для различных условий и требований.

### Проведение лабораторных испытаний

Для проверки работоспособности устройства был спроектирован и собран испытательный стенд (рис. 10). Одной из задач лабораторного исследования был контроль постоянного и регулируемого выноса химического реагента из устройства. Принцип работы стенда основан на изменении электропроводности среды в результате постепенной ее минерализации.

Стенд представляет собой замкнутый трубопроводный контур, внутри которого дистиллированная вода — среда — диэлектрик, при помощи центробежного насоса циркулирует через буферную емкость. На одной из линий контура установлено разработанное дозирующее устройство. В качестве концентрированного химического реагента перфорированный контейнер был заполнен хлористым натрием (пищевой солью), который должен вымываться из дозатора с течением времени.

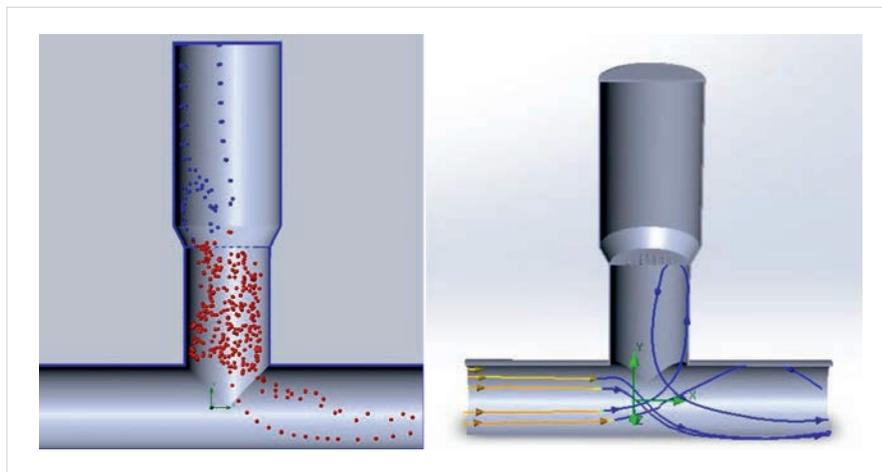


Рис. 6 — Направление потока жидкости в устройстве и уровень обогащения проходящей жидкости  
Fig. 6 — The direction of fluid flow in the device and the level of enrichment of the flowing fluid

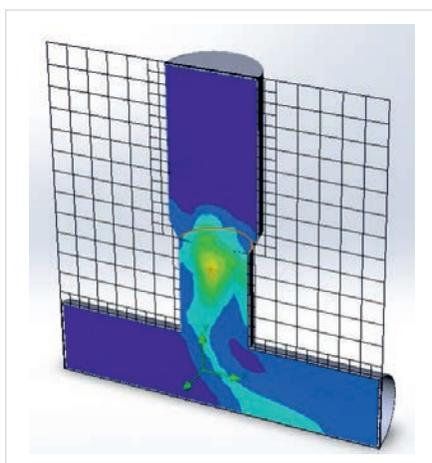


Рис. 7 — Расчет давления и завершённости потока жидкости  
Fig. 7 — Calculation of pressure and completion of fluid flow

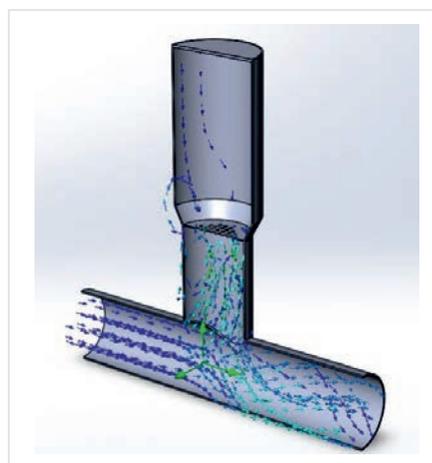


Рис. 8 — Симуляция работы устройства дозирования  
Fig. 8 — Simulation of the dosing device

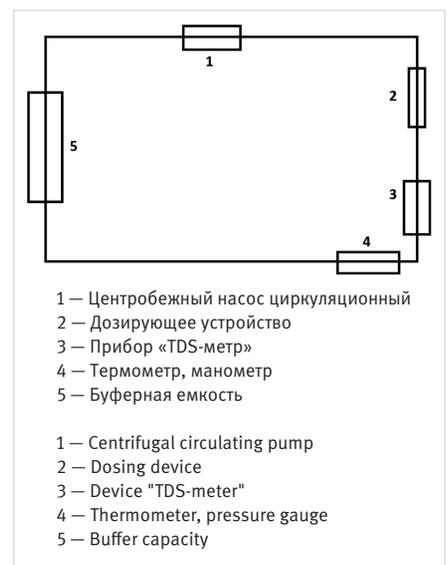


Рис. 9 — Принципиальная схема работы лабораторной установки  
Fig. 9 — Schematic diagram of the laboratory setup



Рис. 10 — Сборка испытательного стенда  
Fig.10 — Build a test bench



Рис. 11 — Прототип устройства дозирования реагента  
Fig. 11 — Prototype reagent dosing device

Для точной оценки равномерности дозирования химического реагента, в трубопровод был установлен прибор «TDS-метр», измеряющий в режиме реального времени электропроводность среды. Электропроводность напрямую зависит от минерализации и температуры. Термометр, установленный в контуре контролировал постоянство температурного режима. Благодаря оперативному мониторингу этих данных можно судить о равномерности дозирования реагента и работоспособности технологии в целом.

Лабораторные испытания проводились в лаборатории ЗАО «Ижевский нефтяной научный центр» на протяжении 30 суток. Основные вызовы, решаемые в рамках проведения лабораторных испытаний:

1. Возможность регулирования и поддержания установленной дозировки;
2. Возможность постоянного дозирования реагента (с погрешностью до 10%).

Лабораторные испытания проводились в 3 этапа.

На первом этапе циркуляция жидкости осуществлялась с закрытой задвижкой, без возможности подачи реагента. TDS – метр не зафиксировал увеличения минерализации

среды. На втором этапе отслеживалась возможность устройства в течении 3–5 дней регулировать и держать на заданном уровне подачу дозируемого реагента. Лабораторные испытания показали, что колебания дозровок при регулировании не превышают 6%. Третий этап предполагал максимальную подачу реагента и контроль за постоянством дозирования. Результаты лабораторных испытаний приведены в таб. 2 и на рис. 8.

Учитывая, что устройство дозирует концентрированные формы реагентов, максимальная подача способна работать на довольно большие объемы обрабатываемой среды. Оптимизация конструкции контейнера и варианты дозирования могут быть выделены в отдельную задачу и не рассматривались в рамках настоящей статьи.

На рис. 8 представлен прототип устройства дозирования концентрата реагента в магистраль. Был собран опытный образец с смотровыми окнами для контроля вымывания реагента. В качестве прототипа дозирующих сеток были собраны сетки с разными рабочими сечениями, для разных условий и возможности контроля скорости вымывания реагента.

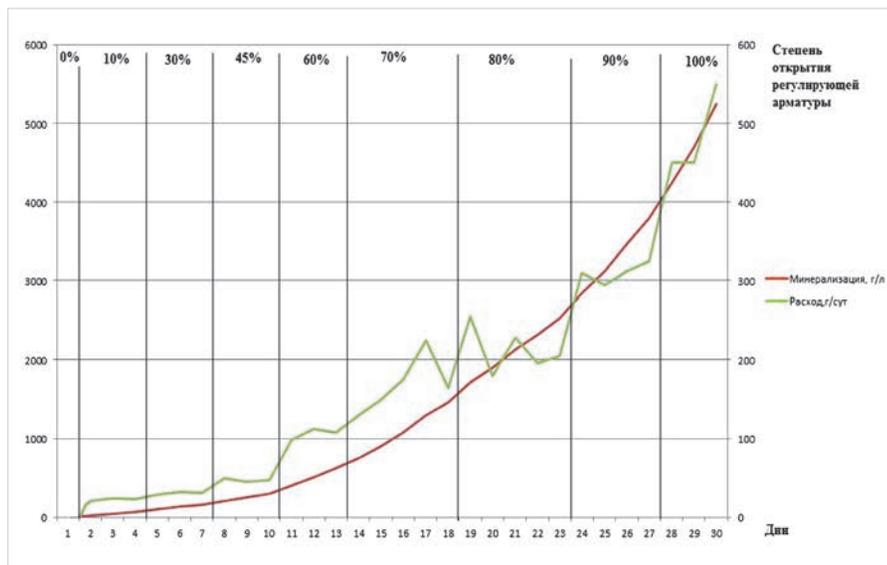


Рис. 12 — График изменения дозировки НПКР в зависимости от степени открытия регулирующей арматуры

Fig. 12 — Schedule of changes in the dosage of the reagent, depending on the degree of opening of the control valve

День	Степень открытия регулирующей арматуры, %	Минерализация, г/л	Расход реагента, г/сут
1	0	0	0
2	10	21	21
3	10	45	24
4	10	68	23
5	30	97	29
6	30	129	32
7	30	160	31
8	45	210	50
9	45	255	45
10	45	302	47
11	60	400	98
12	60	512	112
13	60	620	108
14	70	750	130
15	70	900	150
16	70	1075	175
17	70	1300	225
18	70	1465	165
19	80	1720	255
20	80	1900	180
21	80	2129	229
22	80	2325	196
23	80	2530	205
24	90	2840	310
25	90	3125	295
26	90	3475	312
27	90	3800	325
28	100	4250	450
29	100	4700	450
30	100	5250	550

Таб. 2 — Полученные данные во время лабораторных испытаний

Tab. 2 — The data obtained during laboratory tests

Из графика проведения лабораторных испытаний видно, как меняется скорость насыщения жидкости солями и расход реагента в зависимости от открытости регулирующей задвижки. Устройством предусмотрено дозирование нефтепромыслового реагента в широких диапазонах по уровню расхода, что делает возможным подачу таких реагентов как ингибиторы коррозии, ингибиторы парафиноотложений, солеотложений, а также подачу деэмульгаторов.

#### Итоги

Авторами разработано устройство для дозированной подачи реагента в трубопроводные системы. Подана заявка на получение патента. Лабораторные испытания показали положительные результаты по отслеживаемым параметрам: вынос реагента осуществлялся равномерно и стабильно, при этом была предусмотрена возможность более точного дозирования за счет регулирующей арматуры. Проведение опытно – промышленных испытаний разработанного устройства

запланировано в 2019 году на объектах ОАО «Удмуртнефть». Проект так же был поддержан многими производителями химических реагентов.

#### Выводы

Данная технология подачи химических реагентов может быть успешно реализована не только в нефтяной, газовой или угольной промышленности, а также в бытовых условиях, работе жилищно-коммунального хозяйства, системах водоснабжения и других коммуникациях. Основной сегмент рынка для разработанного устройства – районы с отсутствием развитой инфраструктуры, отсутствием линий электропередач и подъездных путей, а также во время сезонного бездорожья.

#### Литература

1. Блябляс А.Н., Ильин А.В. Модернизация технических средств защиты промышленных трубопроводов от внутренней коррозии // Химическая физика и мезоскопия, 2016,

Т. 18. №3. С. 405–411.

2. Ефимченко С.И., Прыгаев А.К. Расчет и конструирование оборудования нефтяных и газовых промыслов. М.: Нефть и газ, 2006. 734 с.
3. Протасов В.Н., Кривенков С.В., Блохина М.Г., Левин Ю.А. Определение показателей надежности нефтепромыслового оборудования. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. 58 с.
4. Гуревич Д.Ф. Трубопроводная арматура: справочное пособие. М.: URSS, 2008. 366 с.
5. Мустафин Ф.М., Быков Л.И., Гумеров А.Г. и др. Промысловые трубопроводы и оборудование. М.: Недра, 2004. 664 с.
6. Ланчаков Г.А., Зорин Е.Е., Пашков Ю.И., Степаненко А.И. Работоспособность трубопроводов. Часть 2. Сопrotивляемость разрушению. М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. 350 с.
7. Коннова Г.В. Оборудование транспорта и хранения нефти и газа. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. 128 с.

ENGLISH

PIPELINE

UDC 622.692.4

## A method of autonomous dosing of chemicals in the absence of developed infrastructure

#### Authors:

**Aleksandr V. Severiukhin** — engineer-designer<sup>1</sup>; ti\_37@mail.ru

**Aleksandr N. Blyablyas** — principal engineer<sup>2</sup>; Sas5939@yandex.ru

**Vitali N. Grigorev** — engineer<sup>2</sup>; VNGrigorev@udmertneft.ru

<sup>1</sup>LLC «Izhevsk crane plant» Izhevsk, Russian Federation

<sup>2</sup>JSC «Izhevsk Oil Research Center», Izhevsk, Russian Federation

#### Abstract

Despite the constant development of technologies, alternative methods of protection and chemicalization of all production processes, internal corrosion of pipelines remains a key problem for the management of pipeline operation of all oil-producing organizations. The authors developed an Autonomous device for constant supply of the required volume of concentrated reagent in the pipeline, without reference to infrastructure, roads and power lines. The main market segment for the developed device-areas with lack of infrastructure, lack of power lines and access roads, as well as during seasonal off-road.

#### Materials and methods

By means of computer-aided design ANSYS and ASPEN Hysys was performed hydraulic calculation of the device, calculated pressure drops and the rate of supply of the reagent from the container. To check the performance of the theory of the authors was designed test stand, conducted laboratory and field tests to measure the rate of flow of the chemical reagent.

#### Keywords

pipelines, corrosion, dosing of the reagent, feeder reagent

#### Results

Laboratory tests have shown positive results on the monitored parameters: the removal of the reagent was carried out evenly and stably, with the possibility of more accurate dosing due to the control valves.

#### Conclusions

This technology of chemical reagents supply can be successfully implemented not only in the oil, gas or coal industry, as well as in domestic conditions, the work of housing and communal services, water supply systems and other communications.

#### References

1. Blyablyas A.N., Il'in A.V. *Modernizatsiya tekhnicheskikh sredstv zashchity promyslovykh truboprovodov ot vnutrenney korrozii* [Modernization of technical means of protection of field pipelines from internal corrosion]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*, 2016, V. 18, issue 3, pp. 405–411.
2. Efimchenko S.I., Prygaev A.K. *Raschet i konstruirovaniye oborudovaniya neftyanykh i gazovykh promyslov* [Calculation and design of oil and gas field equipment]. Moscow: *Neft' i gaz*, 2006, 734 p.
3. Protasov V.N., Krivenkov S.V., Blokhina M.G., Levin Yu.A. *Opredeleniye pokazateley nadezhnosti neftepromyslovogo oborudovaniya* [The determination of the reliability of oilfield equipment]. M.: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2004, 58 p.
4. Gurevich D.F. *Truboprovodnaya armatura: spravochnoe posobie* [Pipeline valve]. Moscow: URSS, 2008, 366 p.
5. Mustafin F.M., Bykov L.I., Gumerov A.G. and oth. *Promyslovyye truboprovody i oborudovaniye* [Field pipelines and equipment]. Moscow: *Nedra*, 2004. 664 p.
6. Lanchakov G.A., Zorin E.E., Pashkov Yu.I., Stepanenko A.I. *Rabotosposobnost' truboprovodov. Chast' 2. Soprotivlyаемost' razrusheniyyu* [The efficiency of the pipelines]. Moscow: *Nedra-Biznessentr*, 2001, 350 p.
7. Konnova G.V. *Oborudovaniye transporta i khraneniya nefi i gaza* [Oil and gas transportation and storage equipment]. Rostov-na-Donu: *Feniks*, 2006, 128 p.