

при которых увеличение расхода насосов (т. е. дебита) мало, что влияет на эффективность гидротранспорта. А вместо этого нужно сосредоточиться на оптимизации показателей (параметров) модели Гершеля-Балкли. К счастью, подход Эйлера-Лагранжа позволяет проводить такие исследования относительно быстро. Этот факт имеет большое значение для практики бурения.

#### Литература

1. Busch A. On particle transport and turbulence in wellbore flows of non-Newtonian fluids – findings from a cuttings transport process analysis by means of computational fluid dynamics, rheometry, and dimensional analysis. PhD Thesis. Trondheim university. 2020.
2. Guo, Boyun, and Gefei Liu. Applied drilling circulation systems: hydraulics, calculations and models. Gulf Professional Publishing, 2011.
3. Saasen A. Viscosity models for drilling fluids: viscosity parameters and their use / A. Saasen, J.D. Ytrehus // International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering; American Society of Mechanical Engineers. 2019. – V. 58875. – P. V008T11A078.
4. Харламов С.Н., Джанхорбани М., Брыксин М.Р. Аспекты компьютерного моделирования процессов транспорта и очистки от шлама горизонтальных участков скважин // Математическое моделирование. 2022. – Т. 34. – №11. – С. 77 – 106.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦИКЛОННЫХ АППАРАТОВ В ПРОЦЕССЕ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ГАЗОГИДРАТОВ Дубов А.А.

Научный руководитель старший преподаватель Л.В. Чеканцева  
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Проблема гидратообразования в настоящее время является одной из основных осложнений, с которыми сталкиваются компании при разработке большинства газовых и газоконденсатных месторождений. Для месторождений Западной Сибири и Крайнего Севера это имеет особое значение, связанное с аномально низкими температурами.

Гидраты, скапливаясь внутри промыслового оборудования, приводят к уменьшению пропускной способности, дополнительного понижения давления газоконденсата при протекании через сужение проходного канала, а в некоторых случаях и его полной остановке. Возникновение гидратных отложений в призабойной зоне пласта оказывает отрицательное воздействие на дебит скважины [2].

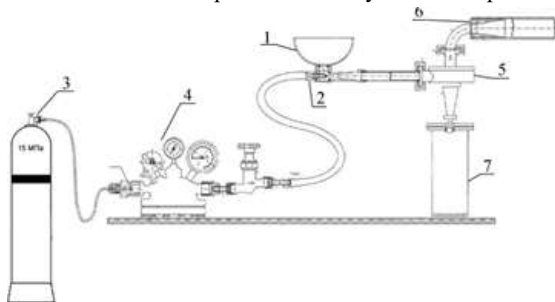
Наиболее распространенным способом борьбы с гидратообразованием в настоящее время является применение метанола, что позволяет изменить термодинамические условия образования гидратов. По некоторым оценкам, около 30–35 % затрат на транспортировку и добычу газа приходится на борьбу с гидратами [3].

Целью данной работы является выявление зависимостей для эффективного улавливания частиц газогидратов, а также определение оптимальных параметров работы установки.

Одним из эффективных решений проблемы присутствия газогидратов в газе является применение циклонных аппаратов, при этом способе удаление газогидратов происходит под действием центробежной силы.

Для исследования этой проблемы была использована установка, предназначенная для моделирования и определения основных параметров процесса улавливания механических примесей и твердых гидратов в газовом потоке трубопровода с применением эжектора [1].

Схема экспериментальной установке представлена на рисунке 1.



Установка состоит из следующих элементов:

- 1 - приемная воронка;
- 2 - эжектор;
- 3 - баллон со сжатым воздухом;
- 4 - рамповый редуктор ДКР-250;
- 5 - циклон;
- 6 - колено с измерительной трубой;
- 7 - форбункер.

**Рис. 1. Установка отделения механических примесей**

Данная установка работает следующим образом. В приемную воронку 1 помещаются частицы льда, которые по своим свойствам наиболее близки к кристаллам гидратов, массой 100 г и с размерами частиц до 8 мм. Из баллона через редуктор 4 подается воздух с необходимым давлением на эжектор 2. В результате эжекционного эффекта образуется движения газового потока с частицами льда по транспортной трубе, затем двухфазный поток поступает в циклон 5. В результате движения двухфазного потока по касательной к внутренней поверхности корпуса в циклоне происходит вращение потока неочищенного газа со скоростью, обеспечивающей появление центробежной силы, превышающей силу тяжести. При этом тяжелые частицы льда под действием центробежной силы накапливаются у внутренней поверхности корпуса циклона. Здесь частицы теряют центробежную скорость, извлекаются

от воздействия центробежной силы, преодолевая силы трения, под воздействием собственной тяжести смещаются вниз в форбункер [1].

В ходе работы были получены данные о степени очистки газа и коэффициенте эжекции при различных диаметрах сопел эжектора от 3,1 мм до 4,8 мм при расходе газа от 49 м<sup>3</sup>/ч до 79 м<sup>3</sup>/ч. При проведении экспериментов с приборов снимались следующие значения: масса выхода, средний перепад давления и время проведения испытания. Проведенные испытания доказали работоспособность данного способа очистки газа. На рисунке 2 представлен график результатов стеновых испытаний на установке для сопел трех различных диаметров, при подаваемом давлении газа равного 2, 3 и 4 атм. Измерения объемного расхода производились дифманометром-термоанемометром DT-8920.

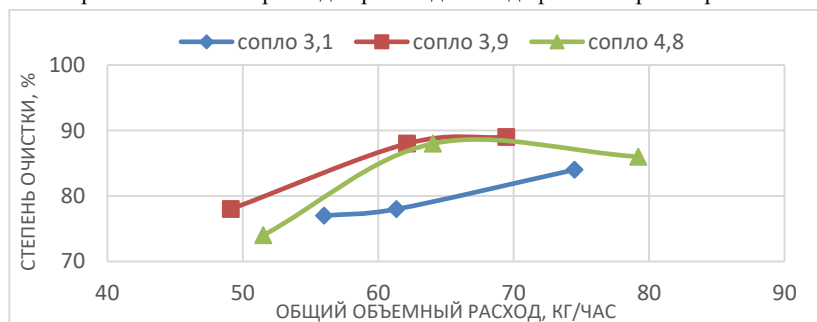


Рис. 2. Зависимость эффективности удаления частиц льда от расхода газа

Как видно из рисунка 2 установка может с высокой эффективностью около 82 % улавливать твердые частицы. С повышением подачи газа обеспечивается лучшая его сепарация, также самый лучший результат получен при использовании сопла диаметром 3,9 мм при значении общего расхода 69,4 кг/час. На рисунке 3 представлен график зависимости коэффициента эжекции для сопел трех различных диаметров, при подаваемом давлении газа равного 2, 3 и 4 атм.

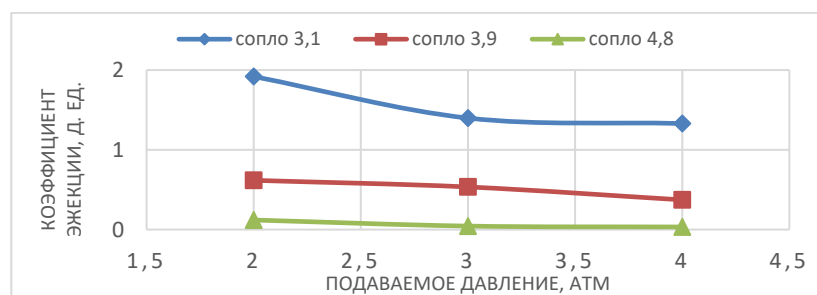


Рис. 3. Зависимость коэффициента эжекции от подаваемого давления

Таблица

Расход активного потока

P, подаваемое давление, атм	2	3	4
Qm, Расход активного потока для сопла 3,1 мм, кг/час	19,19	25,58	31,98
Qm, Расход активного потока для сопла 3,9 мм, кг/час	30,37	40,49	50,61
Qm, Расход активного потока для сопла 4,8 мм, кг/час	46,00	61,33	76,66

Из рисунка 3 и таблицы видно, что с увеличением подаваемого давления коэффициент эжекции уменьшается за счет увеличения расхода активного потока, также с уменьшением диаметра сопла коэффициент эжекции увеличивается. Наибольшее значение коэффициента эжекции равно 1,91 имеет сопло диаметром 3,1 мм при подаваемом давлении 2 атм.

По полученным результатам лабораторных испытаний можно сделать вывод от том, что на установке достаточно эффективно происходит улавливание твердых частиц при использовании всех насадок, но наилучшие значения степени очистки были получены с соплом 3,1 мм при подаваемом давлении 4 атм. Также найдена зависимость степени эжекции от расхода активного потока. Рассчитаны значения для эффективной работы данной установки.

#### Литература

1. Волков П. В. Исследование и комплексное применение гидроаэромеханических методов для предотвращения гидратообразования при подготовке газа // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 155-летию со дня рождения академика В.А. Обручева, 135-летию со дня рождения академика М.А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы, и 110-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири, Томск, 2-7 апреля 2018 г. Т. 2.—Томск, 2018. – Т. 2. – С. 100-102.
2. Ибрагимов Н. Г. и др. Осложнения в нефтедобыче. – 2003.
3. Закожурников Ю. А. Подготовка нефти и газа к транспортировке. – 2010.