



DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-3-254-260

УДК 622.276.012+622.276.53

Научная статья

Повышение эффективности работы жидкостно-газового эжектора

А.Н. Дроздов, Я.А. Горбылева, Е.И. Горелкина

Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Н.А. Дроздов

ООО «Инновационные нефтегазовые решения», Российская Федерация, 115682, Москва, ул. Штиловская, д. 64, корп. 1

История статьи:

Поступила в редакцию: 05 сентября 2019

Доработана: 08 октября 2019

Принята к публикации: 21 октября 2019

Ключевые слова:

насосно-эжекторные системы, характеристика жидкостно-газового эжектора, коэффициент полезного действия эжектора, минерализация, рациональная концентрация солей

Предлагаемое в статье решение относится к струйной технике и может быть использовано, например, в добыче нефти и газа, сборе и подготовке нефти, газа и воды, извлечении метана из метаноугольных пластов, нефтепереработке. Техническим результатом является повышение эффективности жидкостно-газового эжектора путем обеспечения его работы в области рациональных концентраций и состава солей, в которой достигается интенсификация энергообмена между рабочей жидкостью и эжектируемым газом. Сущность предлагаемого решения: способ работы жидкостно-газового эжектора включает нагнетание рабочей жидкости силовым насосом в сопло эжектора, откачку газа эжектором, создание, диспергирование и повышение давления газожидкостной смеси эжектором с использованием в качестве рабочей жидкости водных растворов солей. Значения концентрации и состава солей в рабочей жидкости поддерживают в пределах области рациональных концентраций и состава солей, в которой достигаются повышенные величины коэффициента полезного действия эжектора. В слабоминерализованные водные растворы добавляют соли, а сильноминерализованные водные растворы разбавляют пресными водами. В качестве рабочей жидкости используют являющиеся водными растворами солей пластовые и/или попутно добываемые воды нефтяных, газовых, газоконденсатных и метаноугольных месторождений, если состав и концентрация солей в них находятся в пределах области рациональных концентраций и состава солей, в которой обеспечивается повышение коэффициента полезного действия эжектора. Границы области рациональных концентраций и состава солей предварительно определяют путем проведения лабораторных стендовых исследований.

Введение

Струйная техника (в том числе жидкостно-газовые эжекторы) используется в добыче нефти

и газа, сборе и подготовке нефти, газа и воды, извлечении метана из метаноугольных пластов, нефтепереработке и других отраслях промышленности.

Вместе с тем эффективность струйных аппаратов и способов их эксплуатации остается недостаточно высокой.

Известен, например, способ работы жидкостно-газового эжектора, включающий формирование струи активной жидкостной среды путем подачи рабочей жидкости под давлением в сопло для подсосывания пассивной газообразной среды и дальнейшего смешения потоков жидкости и газа, причем в поток газа до смешения его с

Дроздов Александр Николаевич, профессор департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии РУДН, доктор технических наук, профессор; drozdov_an@mail.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9509-203X>, eLIBRARY SPIN-код: 9355-4829.

Дроздов Николай Александрович, генеральный директор ООО «Инновационные нефтегазовые решения», кандидат технических наук; eLIBRARY SPIN-код: 7660-9196.

Горбылева Яна Алексеевна, аспирант, учебный мастер лаборатории горных машин департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии РУДН; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4021-3046>, eLIBRARY SPIN-код: 5132-3021.

Горелкина Евгения Ильинична, аспирант, учебный мастер лаборатории горных машин департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии РУДН.

© Дроздов А.Н., Дроздов Н.А., Горбылева Я.А., Горелкина Е.И., 2019

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

потоком жидкости подают дополнительный поток жидкости под давлением, равным давлению подсасываемого газа, при этом расход дополнительного потока жидкости составляет 0,01–1,15 от расхода подсасываемого газа [1]. Этот способ имеет, как показали последующие экспериментальные исследования, ограниченную область применения и низкие функциональные возможности.

Другой способ работы жидкостно-газового эжектора заключается в откачке газа нагнетаемой в сопло эжектора рабочей жидкостью, в качестве которой используется углеводородосодержащая жидкость – капролактамы, при этом содержание капролактама в рабочей жидкости составляет не менее 75 % по массе, а содержание примесей – остальное [2]. Данный способ имеет низкую эффективность, а также ограниченную область применения из-за высокой цены и токсичности капролактама.

Еще один способ работы жидкостно-газового эжектора состоит в откачке газа нагнетаемой в сопло эжектора рабочей жидкостью, в качестве которой используется углеводородосодержащая жидкость, содержащая смесь бензола, толуола, ксилолов и жидких углеводородов от C_6 до C_{10} при следующем соотношении компонентов (масс. %): бензол 20–40; толуол 10–25; ксилолы 2–10; примеси 1–9; смесь жидких углеводородов от C_6 до C_{10} – остальное [3]. Как и предыдущие, способ имеет низкую эффективность, область применения и ограничена из-за высокой цены используемой углеводородосодержащей жидкости, являющейся к тому же ядовитым и канцерогенным веществом.

Низко эффективен и ограничен в области применения по причине высокой цены, токсичности и канцерогенности используемой углеводородосодержащей жидкости способ работы жидкостно-газового эжектора, включающий откачку газа нагнетаемой в сопло эжектора рабочей жидкостью, в качестве которой используется углеводородосодержащая жидкость с алкилбензолом, содержание которого в рабочей жидкости составляет не менее 75 % по массе, а содержание примесей – остальное [4]. Известный способ имеет

Наконец, малоэффективным является способ работы жидкостно-газового эжектора, включающий откачку газа нагнетаемой в сопло эжектора рабочей жидкостью, в качестве которой используется вода, вследствие недостаточно интенсивного перемешивания воды и откачиваемого газа.

Наиболее перспективным для дальнейшего улучшения является способ работы жидкостно-газового эжектора, включающий нагнетание рабочей жидкости силовым насосом в сопло эжектора, откачку газа эжектором, создание, диспергирование и повышение давления газожидкостной смеси эжектором с использованием в качестве рабочей жидкости водных растворов солей [6], хотя и он имеет низкую эффективность по причине недостаточно интенсивного энергообмена между рабочей жидкостью и эжектируемым газом.

1. Цель и методы работы

Цель работы – разработка методов интенсификации энергообмена между потоками рабочей жидкости и откачиваемого газа и, соответственно, повышение эффективности работы жидкостно-газового эжектора

Указанная проблема решается тем, что в способе работы жидкостно-газового эжектора, включающем нагнетание рабочей жидкости силовым насосом в сопло эжектора, откачку газа эжектором, создание, диспергирование и повышение давления газожидкостной смеси эжектором с использованием в качестве рабочей жидкости водных растворов солей, значения концентрации и состава солей в рабочей жидкости поддерживают в пределах области рациональных концентраций и состава солей, в которой достигаются повышенные величины коэффициента полезного действия (КПД) эжектора.

Кроме того, в слабоминерализованные водные растворы добавляют соли, а сильноминерализованные водные растворы разбавляют пресными водами.

Также в качестве рабочей жидкости можно использовать являющиеся водными растворами солей пластовые и/или попутно добываемые воды нефтяных, газовых, газоконденсатных и метаноугольных месторождений, если состав и концентрация солей в них находятся в пределах области рациональных концентраций и состава солей, в которой обеспечивается повышение КПД эжектора.

В одном из вариантов способа в поток рабочей жидкости и/или газа добавляют пенообразующие поверхностно-активные вещества (ПАВ). В другом варианте – границы области рациональных концентраций и состава солей предварительно определяют путем проведения лабораторных

стендовых исследований характеристик жидкостно-газовых эжекторов.

Допустимо границы области рациональных концентраций и состава солей определять, исходя из условия, что допустимое снижение КПД эжектора в оптимальном режиме на границах области по сравнению с его максимальным значением составляет не более 5 %.

В качестве еще одного варианта откачку газа проводят при давлении газа, превышающем атмосферное давление.

2. Результаты

Достижимые технические результаты заключаются в повышении эффективности жидкостно-газового эжектора путем обеспечения его работы в области рациональных концентраций и состава солей, в которой достигается интенсификация энергообмена между рабочей жидкостью и эжектируемым газом.

Сущность метода поясняется рисунками: на рис. 1 представлена схема устройства для реализации метода, на рис. 2 – вариант устройства для реализации метода, на рис. 3 – стендовые характеристики жидкостно-газового эжектора при откачке газа, на рис. 4 – пример определения области рациональных концентраций по графику зависимости значений КПД жидкостно-газового эжектора в оптимальных режимах от концентрации соли.

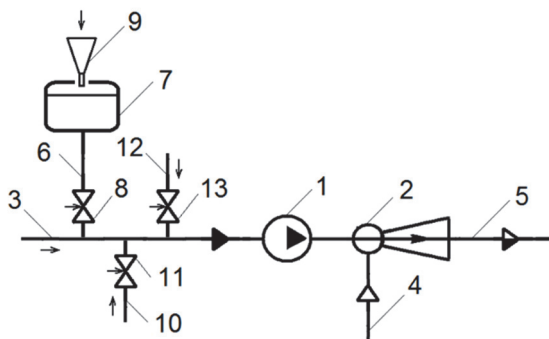


Рис. 1. Схема устройства для реализации метода
[Figure 1. Scheme of the device for implementing the method]

Устройство для реализации способа (рис. 1) содержит силовой насос (1), жидкостно-газовый эжектор (2), а также линию подачи рабочей жидкости – водных растворов солей (3), линию подачи газа (4) и линию закачки газожидкостной

смеси (5). К линии подачи рабочей жидкости (3) присоединена линия подачи соли (6) с баком (7), задвижкой (8) и воронкой для засыпки соли (9), а также линия подачи пресной воды (10) с задвижкой (11) и линия подачи ПАВ (12) с задвижкой (13).

В другом варианте выполнения устройства к линии подачи газа (4) подключен компрессор (14) (рис. 2).

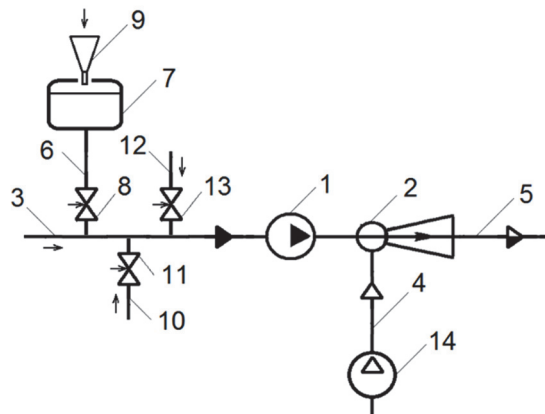


Рис. 2. Вариант устройства для реализации метода
[Figure 2. A variant of the device for implementing the method]

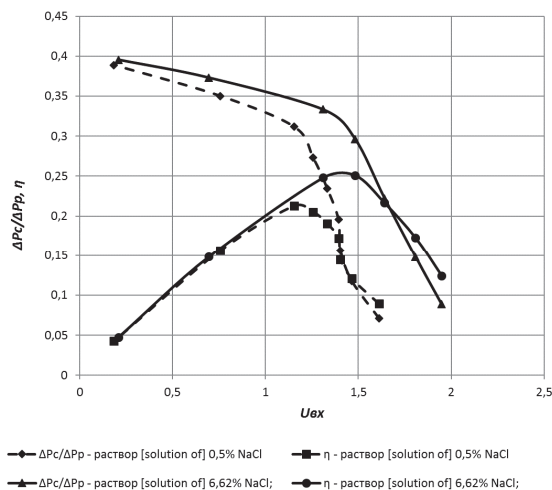


Рис. 3. Характеристики жидкостно-газового эжектора
[Figure 3. Characteristics of a liquid-gas ejector]

Способ работы жидкостно-газового эжектора осуществляют следующим образом.

Нагнетают рабочую жидкость силовым насосом (1) из линии подачи (3) в сопло жидкостно-газового эжектора (2), которым откачивают газ из газовой линии (4). Эжектором (2) создают, дис-

пергируют и повышают давление газожидкостной смеси, направляя ее в линию закачки (5).

Значения концентраций и состава солей в воде в пределах области рациональных концентраций и состава солей обеспечивают так.

Для слабоминерализованных вод это осуществляют путем добавления солей в воду. При этом через воронку (9) насыпают необходимое количество соли требуемого состава в бак (7). Там соль растворяется в воде и затем по линии (6) с открытой задвижкой (8) поступает в линию подачи воды (3) и далее на вход силового насоса (1). Задвижки (11) и (13) при этом закрыты.

Для сильноминерализованных вод это производят путем их разбавления пресными водами. Пресную воду подают по линии (10) с открытой задвижкой (11). Задвижки (10) и (12) при этом закрыты.

Используют также направляемые по линии (3) пластовые и/или попутно добываемые воды нефтяных, газовых, газоконденсатных и метанугольных месторождений, если состав и концентрация солей в пластовых и/или попутно добываемых водах находятся в пределах области рациональных концентраций и состава солей, в которой обеспечивается повышение КПД эжектора. Задвижки (8), (11) и (13) при этом закрыты.

В ряде случаев эксплуатации в поток воды и/или газа дополнительно добавляют пенообразующие ПАВ, например в поток рабочей жидкости по линии (1) с открытой задвижкой (13). Задвижки (8) и (11) при этом закрыты.

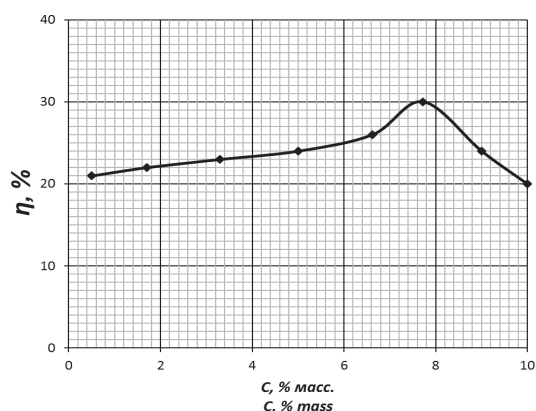


Рис. 4. Пример определения области рациональных концентраций по графику зависимости значений КПД жидкостно-газового эжектора в оптимальных режимах от концентрации соли [Figure 4. An example of determining the region of rational concentrations according to a graph of the dependence of the efficiency values of a liquid-gas ejector in optimal conditions on the salt concentration]

Для дополнительного повышения КПД эжектора откачку газа проводят также при давлении газа, превышающем атмосферное давление. Давление газа на приеме жидкостно-газового эжектора (2) при этом увеличивают с помощью компрессора (14).

В варианте способа границы области рациональных концентраций и состава солей предварительно определяют путем проведения лабораторных стендовых исследований характеристик жидкостно-газовых эжекторов. Лабораторные исследования проводят на специальных стендах, позволяющих получать напорно-энергетические характеристики струйных аппаратов [7; 8].

3. Обсуждение

Итак, в качестве рабочей жидкости используют водные растворы солей, меняя их концентрацию и состав в процессе экспериментов. По данным этих исследований строят напорно-энергетические характеристики жидкостно-газовых эжекторов и зависимости КПД жидкостно-газовых эжекторов от концентрации и состава солей в рабочей жидкости.

На рис. 3 представлены в качестве примера полученные при лабораторных стендовых исследованиях зависимости относительного напора $\Delta P/\Delta P_p$ и КПД η от коэффициента инжекции газа $U_{вх}$ для эжектора с диаметром сопла $d_c = 3,6$ мм, диаметром камеры смешения $d_{кк} = 5,4$ мм при откачке воздуха из атмосферы струей воды с массовой концентрацией NaCl, составляющей 0,5 %, и струей воды с массовой концентрацией NaCl, составляющей 6,62%. Значения давления рабочей жидкости P_p перед соплом составляли 1,3–1,35 МПа, расхода рабочей жидкости Q_p через сопло – 1,07–1,08 м³/ч.

Наблюдается заметное улучшение характеристик жидкостно-газового эжектора при откачке газа струей более соленой воды по сравнению с эжектированием газа струей малосоленой воды. Это связано с улучшением энергообмена между струей рабочей жидкости и откачиваемым газом в области рациональных концентраций поваренной соли.

На рис. 4 показано, как по данным лабораторных стендовых исследований определяют границы области рациональных концентраций соли. На график нанесены значения КПД эжектора в оптимальных режимах в зависимости от концентрации поваренной соли. Левую и правую грани-

цы рациональной области находят из условия, что допустимое снижение КПД эжектора на границах области по сравнению с его максимальным значением составляет не более 5 %.

Для данных графика на рис. 4 левая граница области рациональных массовых концентраций соли составляет 6 %, правой – 8,8 %.

Аналогичным методом определяют и границы областей рациональных составов солей.

Практическое применение результатов исследований в первую очередь актуально для решения одной из важнейших проблем нефтяной промышленности, которой является нерациональное сжигание попутного нефтяного газа (ПНГ) на факелах. В мире сгорает около 150 млрд м³ ПНГ ежегодно. В 2017 г. в России сгорело в факелах 12,9 млрд м³, или 13,1 % от общей добычи ПНГ [9]. Вместе с тем утилизировать низконапорный газ можно с применением простых по конструкции и надежных систем, содержащих насосы и жидкостно-газовые эжекторы [10]. Помимо утилизации ПНГ в газопровод или нефтесборный коллектор [10; 11], перспективным вариантом использования попутного газа с помощью жидкостно-газовых эжекторов является водогазовое воздействие на пласт [12–14]. Данная задача имеет большое практическое значение и для рациональной эксплуатации нефтяных скважин, оборудованных установками погружных электроцентробежных насосов с эжекторами [15], при откачке газа из затрубного пространства в колонну насосно-компрессорных труб.

Заключение

Предложенная методология позволяет повысить эффективность работы жидкостно-газового эжектора по сравнению с известными техническими решениями. Это достигается за счет интенсификации энергообмена между рабочей жидкостью и эжектируемым газом с использованием в качестве рабочей жидкости водных растворов солей. Значения концентрации и состава солей в рабочей жидкости поддерживают в пределах области рациональных концентраций и состава солей, в которой достигаются повышенные величины КПД эжектора. В слабоминерализованные водные растворы добавляют соли, а сильноминерализованные водные растворы разбавляют пресными водами. В качестве рабочей жидкости используют являющиеся водными растворами солей пластовые и/или попутно добываемые воды

нефтяных, газовых, газоконденсатных и метаноугольных месторождений, если состав и концентрация солей в пластовых и/или попутно добываемых водах находятся в пределах области рациональных концентраций и состава солей, в которой обеспечивается повышение КПД эжектора. В поток рабочей жидкости и/или газа добавляют пенообразующие ПАВ. Границы области рациональных концентраций и состава солей предварительно определяют путем проведения лабораторных стендовых исследований характеристик жидкостно-газовых эжекторов.

Список литературы

1. Патент РФ № 1735611. Способ работы жидкостно-газового эжектора / авт. изобрет. А.Н. Дроздов, В.И. Игrevский, П.Б. Кузнецов и др. М. кл F 04 F 5/04, заявл. 21.03.1990, опубл. 23.05.1992, Б.И. № 19.
2. Патент РФ № 2179266. Рабочая жидкость для жидкостно-газового струйного аппарата / авт. изобрет. В.Г. Цегельский. М. кл F 04 F 5/54, заявл. 31.08.2000, опубл. 10.02.2002, Б.И. № 4.
3. Патент РФ № 2239101. Рабочая жидкость для жидкостно-газового струйного аппарата установки вакуумной перегонки продуктов пиролиза нефтепродуктов / авт. изобрет. А.Н. Реутов, М.У. Хамитов. М. кл F 04 F 5/54, заявл. 13.08.2003, опубл. 27.10.2004, Б.И. № 30.
4. Патент РФ № 2180411. Рабочая жидкость для жидкостно-газового струйного аппарата / авт. изобрет. В.Г. Цегельский. М. кл F 04 F 5/54, заявл. 08.09.2000, опубл. 10.03.2002, Б.И. № 7.
5. Патент РФ № 2297520. Система утилизации низконапорного природного газа / авт. изобрет. К.С. Басниев, И.В. Грязнова. М. кл E21B 43/34, заявл. 12.07.2011, опубл. 10.11.2011, Б.И. № 31.
6. Патент РФ № 2287490. Система обессоливания воды / авт. изобрет. В.Н. Зенцов, М.Д. Акульшин, Д.Л. Рахманкулов и др. М. кл C02F 1/44, заявл. 03.05.2005, опубл. 20.11.2006, Б.И. № 32.
7. Патент РФ № 2075654. Способ испытаний гидравлических машин и электродвигателей к ним и стенд для его осуществления / авт. изобрет. А.Н. Дроздов, Л.А. Демьянова. М. кл F04D 13/10, F04F 5/54, F04B 51/00, заявл. 14.03.1995.
8. Дроздов А.Н. Технология и техника добычи нефти погружными насосами в осложненных условиях. М.: МАКС Пресс, 2008. С. 187–188.
9. Эдер Л.В., Проворная И.В., Филимонова И.В. По пути к попутному. На ухабах ПНГ // Бурение и нефть. 2018. № 12. С. 4–14.
10. Тарасов М.Ю., Зобнин А.А., Зырянов А.Б., Панов В.Е., Магомедшерифов Н.И. Разработка и промышленные испытания технологии утилизации низко-

напорного нефтяного газа с помощью струйных компрессоров // Нефтяное хозяйство. 2009. № 2. С. 43–45.

11. *Осичева Л.В.* Разработка технологии утилизации попутного газа в нефтепромысловом сборе с использованием струйного аппарата: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина. М., 2004. 21 с.

12. *Абуталипов У.М., Кутабов А.Н., Есинов П.К., Иванов А.В.* Исследование конструктивных и технологических параметров водогазового эжектора для утилизации попутного нефтяного газа // Экспозиция Нефть Газ. 2017. № 4 (57). С. 54–58.

13. *Апасов Т.К., Апасов Г.Т., Саранча А.В.* Использование устьевого эжектора для утилизации попутного газа на Южно-Охтеурском месторождении // Фундаментальные исследования. 2016. № 1 (1). С. 13–17.

14. *Drozdov A.N., Drozdov N.A.* Laboratory Researches of the Heavy Oil Displacement from the Russkoye Field's

Core Models at the SWAG Injection and Development of Technological Schemes of Pump-Ejecting Systems for the Water-Gas Mixtures Delivering // SPE 157819. Society of Petroleum Engineers – SPE Heavy Oil Conference Canada 2012. Canada: Calgary, Alberta, 2012. Pp. 872–878.

15. *Carvalho P.M., Podio A.L., Sepehrnoori K.* An Electrical Submersible Jet Pump for Gassy Oil Well // Journal of Petroleum Technology. 1999. Vol. 51. No. 5. Pp. 34–36.

Для цитирования

Дроздов А.Н., Дроздов Н.А., Горбылева Я.А., Горелкина Е.И. Повышение эффективности работы жидкостно-газового эжектора // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2019. Т. 20. № 3. С. 254–260. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-3-254-260>

Research paper

Increasing efficiency of work of a liquid-gas ejector

Alexander N. Drozdov, Yana A. Gorbyleva, Evgenia I. Gorelkina

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklay St., Moscow, 117198, Russian Federation

Nikolay A. Drozdov

LLC "Innovative Oil and Gas Solutions", 64 Shipilovskaya St., bldg. 1, Moscow, 115682, Russian Federation

Article history:

Received: September 05, 2019

Revised: October 08, 2019

Accepted: October 21, 2019

Keywords:

pump-ejector systems; characteristic of liquid – gas ejector, ejector efficiency, mineralization, rational concentration of salts

The proposed solution relates to fluidics and can be used, for example, in the extraction of oil and gas, the collection and preparation of oil, gas and water, the extraction of methane from methane beds, oil refining. The technical result is to increase the efficiency of a liquid-gas ejector by ensuring its work in the field of rational concentrations and salt composition, in which the intensification of energy exchange between the working fluid and the ejected gas is achieved. The essence of the proposed solution: the method of operation of a liquid-gas ejector involves injecting a working fluid with a power pump into the ejector nozzle, pumping gas with an ejector, creating, dispersing and increasing the pressure of a gas-liquid mixture with an ejector using aqueous solutions of salts as a working fluid. The values of the concentration and composition of salts in the working fluid are maintained within the range of rational concentrations and composition of salts, in which increased values of the efficiency of the ejector are achieved. Salts are added to the weakly mineralized aqueous solutions, and the highly mineralized aqueous solutions are diluted with fresh water. As the working fluid, the formation and/or incidentally produced waters of oil, gas, gas condensate and methane-coal deposits, which are aqueous solutions of salts, are used if the composition and concentration of salts in the produced and/or incidentally produced waters are within the range of rational concentrations and composition of salts in which provides an increase in the efficiency of the ejector. The boundaries of the field of rational concentrations and salt composition are preliminarily determined by laboratory bench studies.

Alexander N. Drozdov, Professor at Department of Mineral Development and Oil & Gas Engineering at Academy of Engineering in RUDN University, Doctor of Technical Sciences, Professor; drozdov_an@mail.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9509-203X>, eLIBRARY SPIN-code: 9355-4829.

Nikolay A. Drozdov, General Director of "Innovative Oil and Gas Solutions" LLC, Ph.D.; eLIBRARY SPIN-code: 7660-9196

Yana A. Gorbyleva, graduate student, training master of the Laboratory of Mining Machines at Department of Mineral Development and Oil & Gas Engineering at Academy of Engineering in RUDN University; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4021-3046>. SPIN: 5132-3021.

Evgenia I. Gorelkina, graduate student, training master of the Laboratory of Mining Machines at Department of Mineral Development and Oil & Gas Engineering at Academy of Engineering in RUDN University.

References

1. Drozdov AN, Igrevsky VI, Kuznetsov PB (inventors). *Rabochaya zhidkost' dlya zhidkostno-gazovogo struinogo apparata ustanovki vakuumnoi peregonki produktov piroliza nefteproduktov* [The method of operation of a liquid-gas ejector]. RU patent No. 1735611. B.I. No. 19. 23 May 1992.
2. Tsegelsky VG (inventor). *Rabochaya zhidkost' dlya zhidkostno-gazovogo struinogo apparata* [The working fluid for a liquid-gas jet apparatus]. RU patent No. 2179266. B.I. No. 4. 10 February 2002.
3. Reutov AN, Khamitov MU (inventors). *Rabochaya zhidkost' dlya zhidkostno-gazovogo struinogo apparata ustanovki vakuumnoi peregonki produktov piroliza nefteproduktov* [Working fluid for a liquid-gas jet apparatus for the installation of vacuum distillation of pyrolysis products of petroleum products]. RU patent No. 2239101. B.I. No. 30. 27 October 2004.
4. Tsegelsky VG (inventor). *Rabochaya zhidkost' dlya zhidkostno-gazovogo struinogo apparata* [Working fluid for a liquid-gas jet apparatus]. RU patent No. 2180411. B.I. No. 7. 10 March 2002.
5. Basniev KS, Gryaznova IV (inventors). *Sistema utilizatsii nizkonapornogo prirodno gaza* [System for utilization of low-pressure natural gas]. RU patent No. 2297520. B.I. No. 31. 10 November 2011.
6. Zentsov VN, Akulshin MD, Rakhmankulov DL, et al. (inventors). *Sistema obessolivaniya vody* [Water desalination system]. RU patent No. 2287490. B.I. No. 32. 20 November 2006.
7. Drozdov AN, Demyanova LA (inventors). *Sposob ispytaniy gidravlicheskikh mashin i elektrodvigatelyei k nim i stend dlya ego osushchestvleniya* [Method for testing hydraulic machines and electric motors for them and a stand for its implementation]. RU patent No. 2075654. 14 March 1995.
8. Drozdov AN. *Tekhnologiya i tekhnika dobychi nefi pogrzhnymi nasosami v oslozhnennykh usloviyakh* [Technology and technique for oil production by submersible pumps in complicated conditions]. Moscow: MAKS Press, 2008. p. 187–188.
9. Eder LV, Provornaya I, Filimonova I. Po puti k poputnomu. Na ukhabakh PNG [On the way to the prosperous. APG bumps]. *Drilling and oil*. 2018;(12):4–14.
10. Tarasov MYu, Zobnin AA, Zyryanov AB, Pannov VYe, Magomedsherifov NI. Razrabotka i promyslovyye ispytaniya tekhnologii utilizatsii nizkonapornogo neftyanogo gaza s pomoshch'yu struynykh kompressorov [Development and field testing of low-pressure oil gas utilization technology using jet compressors]. *Oil Industry*. 2009;(2):43–45.
11. Osicheva LV. *Razrabotka tekhnologii utilizatsii poputnogo gaza v neftepromyslovom sbore s ispol'zovaniem struinogo apparata* [Development of technology for the utilization of associated gas in the oil field using an jet apparatus] (abstract of dis. ... cand. tech. sciences). Moscow; 2004.
12. Abutalipov UM, Kitabov AN, Esipov PK, Ivanov AV. Issledovanie konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov vodogazovogo ezhektora dlya utilizatsii poputnogo neftyanogo gaza [Study of the design and technological parameters of a gas-water ejector for the utilization of associated petroleum gas]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz*. 2017;4(57):54–58.
13. Apasov TK, Apasov GT, Sarancha AV. Ispol'zovanie ust'evogo ezhektora dlya utilizatsii poputnogo gaza na Yuzhno-Okhteurskom mestorozhdenii [Use of a wellhead ejector for utilization of associated gas at the Yuzhno-Okhteurskoye field]. *Fundamental research*. 2016;1(1):13–17.
14. Drozdov AN, Drozdov NA. Laboratory Researches of the Heavy Oil Displacement from the Russkoye Field's Core Models at the SWAG Injection and Development of Technological Schemes of Pump-Ejecting Systems for the Water-Gas Mixtures Delivering. *SPE 157819. Society of Petroleum Engineers – SPE Heavy Oil Conference Canada 2012*. Calgary, Alberta, Canada; 2012. p. 872–878.
15. Carvalho PM, Podio AL, Sepehmoori K. An Electrical Submersible Jet Pump for Gassy Oil Well. *Journal of Petroleum Technology*. 1999;51(5):34–36.

For citation

Drozdov AN, Drozdov NA, Gorbyleva YA, Gorelkina EI. Increasing efficiency of work of a liquid-gas ejector. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2019;20(3):254–260. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-3-254-260>. (In Russ.)