

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЕГАЗАЦИИ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ СЕПАРАЦИОННО-РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ УСТАНОВОК ПОДГОТОВКИ ГАЗА

УДК 621.928.37

И.А. Мнушкин, к.т.н., ООО «НИПИ НГ «Петон» (Уфа, РФ),

MnushkinIA@peton.ru

И.А. Вафин, к.т.н., ООО «НИПИ НГ «Петон», VafinIA@peton.ru

В.В. Сайкин, к.т.н., ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ),

V.Saykin@adm.gazprom.ru

А.А. Тихонов, ПАО «Газпром», A.Tikhonov@adm.gazprom.ru

Статья посвящена изучению возможности применения гидроциклонов в качестве устройства ввода газожидкостной смеси сепарационно-разделительного оборудования. С этой целью на разработанной установке проведены стендовые испытания экспериментальных образцов циклонных устройств на модельных смесях. Для исследования процессов дегазации смеси использован вертикальный, противоточный, двухпродуктовый гидроциклон с цилиндрическим корпусом, а для разделения эмульсии – горизонтальный, противоточный, двухпродуктовый гидроциклон с цилиндроконическим корпусом.

Испытания, проведенные в промышленных условиях на установке подготовки жидких углеводородов филиала ООО «Газпром добыча Краснодар» – Вуктыльское газопромысловое управление, подтвердили, что предлагаемые экспериментальные образцы гидроциклонов можно применять в качестве устройств ввода сепарационно-разделительного оборудования. При этом для окончательного разделения смеси потребуется аппарат уже с меньшими массогабаритными параметрами по сравнению с разделителем, куда исходная газожидкостная смесь направлялась бы без обработки в циклонном устройстве.

В связи с этим применение устройств ввода газожидкостной смеси циклонного типа выступает перспективным решением, направленным на интенсификацию технологии добычи углеводородов на действующих и вновь разрабатываемых газоконденсатных месторождениях ПАО «Газпром».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГАЗОЖИДКОСТНАЯ СМЕСЬ, ЭМУЛЬСИЯ, ГИДРОЦИКЛОН, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ОБРАЗЕЦ, СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ИСПЫТАНИЯ В ПРОМЫСЛОВЫХ УСЛОВИЯХ, УСТРОЙСТВО ВВОДА, СЕПАРАЦИОННО-РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.

Аппараты центробежного типа – гидроциклоны давно применяются в различных отраслях промышленности для разделения неоднородных дисперсных систем. Высокая производительность, компактность, незначительный вес, отсутствие движущихся частей, удобство в эксплуатации позволяют использовать их для отделения механических примесей от жидкостей, разделения несмешивающихся жидкостей, дегазации газожидкостных смесей.

Нефтегазодобывающими компаниями за рубежом гидроциклоны широко применяются для разделения скважинной продукции с отделением песка и очистки пластовой воды, сепарации газожидкостных смесей, разделения несмешивающихся жидкостей, образующих эмульсии при добыче и подготовке природного газа и конденсата к дальнейшему транспорту. По данным компании NATCO group Inc., использование циклонного устройства ввода в сепаратор

приводит к уменьшению объема аппарата более чем в три раза по сравнению с сепаратором гравитационного типа [1].

На установках комплексной подготовки газа (УКПГ) ПАО «Газпром» разделение газожидкостных смесей осуществляется в сепарационно-разделительных аппаратах гравитационного типа за счет отстаивания смеси в течение длительного времени. Такой способ разделения газожидкостных смесей приводит к использованию

I.A. Mnushkin, Candidate of science (Engineering), NIPI NG Peton LLC (Ufa, Russia), MnushkinIA@peton.ru

I.A. Vafin, Candidate of science (Engineering), NIPI NG Peton LLC, VafinIA@peton.ru

V.V. Saikin, Candidate of Science (Engineering), Gazprom PJSC (St. Petersburg, Russia), V.Saikin@adm.gazprom.ru

A.A. Tikhonov, Gazprom PJSC, A.Tikhonov@adm.gazprom.ru

Study of cyclone devices for degassing and preliminary separation of gas-liquid mixtures for separation equipment of gas preparation units

The article is devoted to the study of the possibility of using hydrocyclones as a device for introducing a gas-liquid mixture for separation equipment. For this purpose, bench tests of experimental samples of cyclone devices on model mixtures were carried out at the developed facility. A vertical, countercurrent, two-product hydrocyclone with a cylindrical body was used to study the processes of degassing the mixture, and a horizontal, countercurrent, two-product hydrocyclone with a cylindrical conical body was used to separate the emulsion. Tests carried out in field conditions at the installation of the preparation of liquid hydrocarbons of the Vuktylskoye gas field control branch of OOO Gazprom Dobycha Krasnodar confirmed that the proposed experimental samples of hydrocyclones can be used as input devices for separation equipment. At the same time, for the final separation of the mixture, an apparatus is required with smaller weight and size parameters, as compared with a separator, where the initial gas-liquid mixture would be sent without treatment in a cyclone device. In this regard, the use of cyclone-type gas-liquid mixture input devices is a promising solution aimed at intensifying the technology of hydrocarbon production at the existing and newly developed gas-condensate fields of Gazprom PJSC.

KEYWORDS: GAS-LIQUID MIXTURE, EMULSION, HYDROCYCLONE, EXPERIMENTAL SAMPLE, STAND TESTS, TESTS IN INDUSTRIAL CONDITIONS, INPUT DEVICE, SEPARATION EQUIPMENT.

крупногабаритных, имеющих значительный вес аппаратов. Процесс разделения эмульсии осложняется при наличии в исходной смеси механических примесей, продуктов коррозии, солей, различных ингибиторов. Устойчивость эмульсии при совместной добыче нефти, конденсата и природного газа на нефтегазоконденсатных месторождениях повышают природные эмульгаторы: смолы и асфальтены. Переработка трудноразделимых эмульсий снижает надежность функционирования установки, а при незначительной разнице плотностей гравитационный метод разделения становится неэффективным. Добиться в таких условиях требуемого качества жидких углеводородов для дальнейшей транспортировки становится довольно сложно. Поэтому требуется интенсификация процесса разделения.

Один из способов решения этой проблемы – применение в сепарационно-разделительных аппаратах устройств циклонного типа для ввода газожидкостной смеси. Гидроциклон, используя энергию входящего потока, создает поле центробежных сил, ко-

торое интенсифицирует процесс разделения смеси на газ, легкую и тяжелую жидкие фазы. Продукты разделения смеси из устройства ввода направляются отдельными потоками в соответствующие зоны в аппарате, исключая вторичное перемешивание и сокращая время окончательного разделения.

ООО «НИПИ НГ «Петон», обладая квалифицированным научным и проектно-конструкторским персоналом, а также собственной опытно-производственной базой, по заданию ПАО «Газпром» осуществило комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке циклонных устройств дегазации и предварительного разделения газожидкостных смесей для сепарационного оборудования установок подготовки газа.

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

На основании информационных и патентных исследований разработаны конструкции экспериментальных образцов гидроциклонов и установка для их стендовых испытаний [2–7].

Для изучения процесса дегазации смеси «газ – жидкость» использован вертикальный, противоточный, двухпродуктовый гидроциклон с цилиндрическим корпусом (рис. 1а), а для разделения смеси «жидкость – жидкость» – горизонтальный, противоточный, двухпродуктовый гидроциклон с цилиндроконическим корпусом (рис. 1б).

В соответствии с разработанным технологическим регламентом, установка для стендовых испытаний экспериментальных образцов гидроциклонов состоит из сырьевых емкостей, насосов, смесителя, экспериментальных образцов циклонных устройств, приемных емкостей для продуктов разделения смеси, запорно-регулирующей арматуры и контрольно-измерительных приборов и автоматики (рис. 2). Установка оборудована силовым щитом и шкафом системы управления. Сведения от датчиков температуры, манометров и расходомеров с помощью измерительных модулей фирмы L-CARD выводятся на компьютер для их визуализации, регистрации и обработки в программе LGraph2.

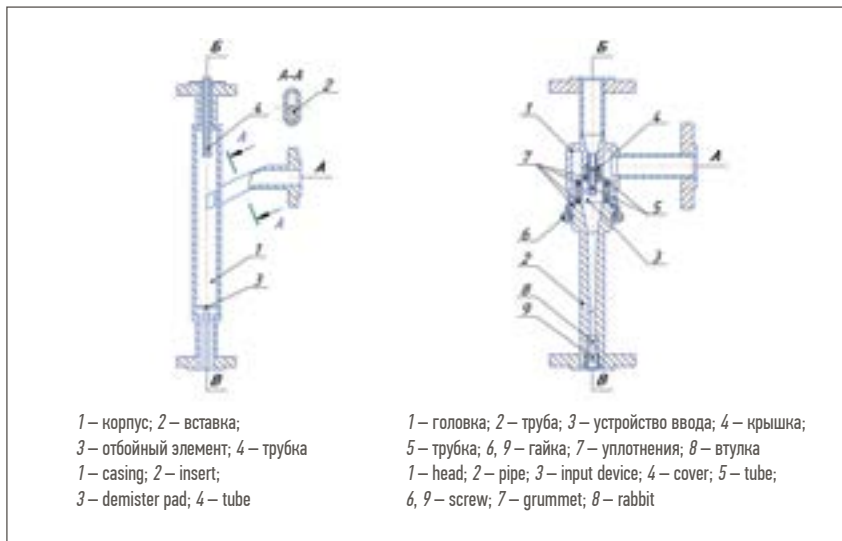


Рис. 1. Экспериментальные образцы гидроциклонов: а) для дегазации смеси «газ – жидкость»; б) для разделения смеси «жидкость – жидкость»
 Fig. 1. Experimental samples of hydrocyclones: a) for degassing a gas – liquid mixture; b) for separating a liquid – liquid mixture



Рис. 2. Установка для стендовых испытаний экспериментальных образцов гидроциклонов
 Fig. 2. Installation for bench testing of experimental samples of hydrocyclones

Для изучения влияния технологических факторов на установке в качестве компонентов модельных смесей использовались воздух, вода, бензин и дизельное топливо. Готовились эмульсии обратного рода типа «вода в масле» с содержанием воды 5, 10, 15 % масс. Расход эмульсии изменялся от 1 до 3 м³/ч. Для визуализации разделения эмульсии использовался гидрофобный красный краситель. Давление на входе в гидроциклон могло изменяться до 1,0 МПа. Расход воздуха на 1 м³ воды составлял 50, 100, 150 Нм³/ч.
 Для изучения влияния конструктивных факторов экспери-

ментальные образцы гидроциклонов выполнены разборными, с набором сменных элементов (устройства ввода с различной формой и количеством каналов, устройства вывода продуктов разделения различного диаметра и конструкции). Согласно [8], экспериментальные образцы гидроциклонов изготавливались в масштабе 1:1 по отношению к образцам, которые будут испытываться в промышленных условиях.
 На основании разработанной программы и методик испытаний экспериментальных образцов гидроциклонов на установке проведено более двухсот экспери-

ментов. Полученные результаты позволили изучить влияние конструктивных и технологических факторов на производительность и эффективность разделения модельных эмульсий воды и нефтепродуктов и дегазации воздушно-водной смеси.

Дополнительно к стендовым испытаниям для обоснования конструкции тангенциального ввода эмульсии в гидроциклон использовался метод вычислительной гидродинамики (рис. 3).
 Установлено, что эффективность разделения эмульсии на легкую и тяжелую фазы повышается при тангенциальной подаче сырья непосредственно под крышку гидроциклона (рис. 3а) с применением двухканального устройства ввода (рис. 3г).

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ ГАЗА

Испытания в промышленных условиях проводились на установке подготовки жидких углеводородов (УП ЖУВ) к дальнейшему транспорту в филиале ООО «Газпром добыча Краснодар» – Вуктыльском газопромысловом управлении (ГПУ). Эта установка была выбрана в связи с тем, что сырьем для нее служит нефтегазоконденсатная смесь (НГКС) с пластовой метанолсодержащей водой, поступающая с установок подготовки газа, расположенных на четырех нефтегазоконденсатных месторождениях (НГКМ) и газоконденсатном месторождении (ГКМ) Вуктыльского ГПУ. Газожидкостная смесь образует обратную эмульсию типа «вода в масле» (рис. 4а) с газовым фактором > 100 м³/т. Установка подготовки жидких углеводородов предназначена для очистки НГКС от пластовой воды и газа выветривания перед дальнейшим транспортом по магистральному конденсатопроводу на Сосногорский газоперерабатывающий завод (ГПЗ) (рис. 4б).
 Согласно технологической схеме УП ЖУВ (рис. 5), смесь

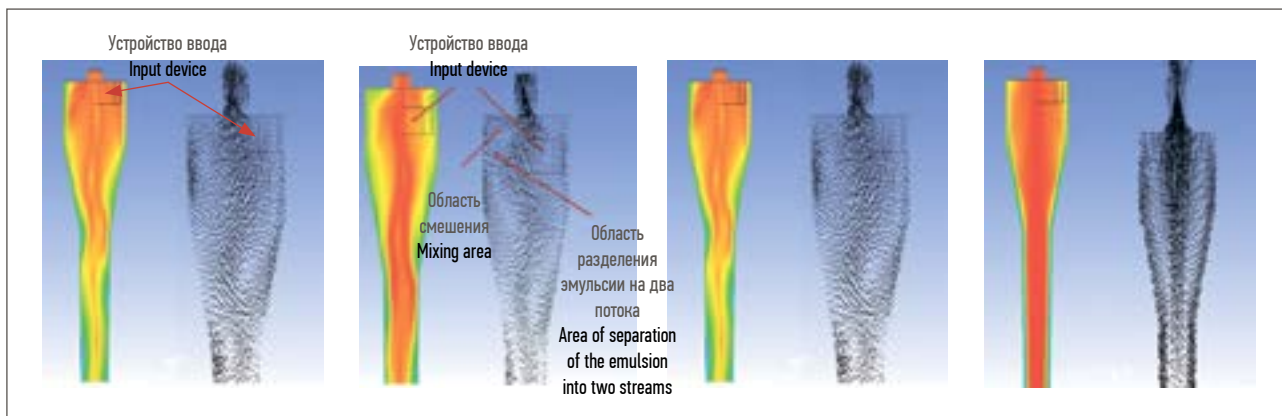


Рис. 3. Гидродинамика потоков в гидроциклоне с тангенциальным вводом эмульсии: а) подача эмульсии ниже крышки циклона; б) подача эмульсии под крышку циклона; в) одноканальный ввод; г) двухканальный ввод
 Fig. 3. Hydrodynamics of flows in a hydrocyclone with tangential emulsion injection: a) emulsion feed below the cyclone cover; б) emulsion feed under the cyclone cover; c) single-channel input; d) dual-channel input

предварительно разделяется на пластовую воду и НГКС, которая в дальнейшем подвергается дегазации. В качестве разделителей, выветривателей и сепараторов применяются емкости объемом 50 м³, где разделение происходит под действием силы гравитации. При средней подаче НГКС 21 м³/ч время отстоя в разделителе составляет ~ 2 ч.

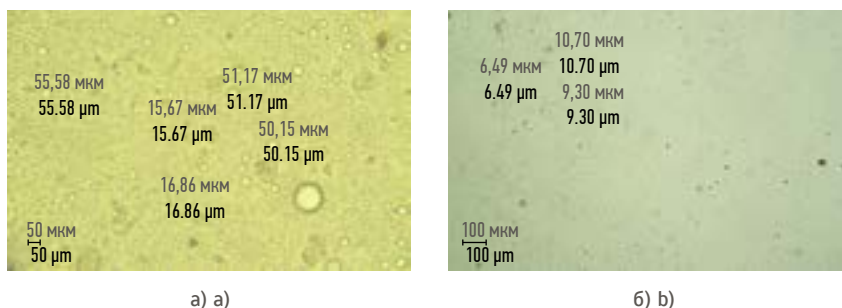


Рис. 4. Нефтегазоконденсатная смесь УП ЖУВ: а) с пластовой водой (эмульсия типа «вода в масле»); б) подготовленная для Сосногорского ГПЗ
 Fig. 4. Oil and gas condensate mixture of an installation for the preparation of liquid hydrocarbons: а) with formation water (water-in-oil emulsion); б) prepared for Sosnogorsk gas processing plants

РАЗРАБОТКА, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

На основании результатов стендовых испытаний экспериментальных образцов гидроциклонов, результатов обследования УП ЖУВ, а также требований технических условий ООО «Газпром добыча Краснодар» разработаны конструкции гидроциклонов,

предназначенные для дегазации и разделения газожидкостных смесей в промышленных условиях. Гидроциклон для дегазации смеси – вертикальный, противоточный, двухпродуктовый с цилиндрическим корпусом (гидроциклон 1,

Гц-1), а для разделения смеси – горизонтальный, противоточный, двухпродуктовый с цилиндрическим корпусом (гидроциклон 2, Гц-2). Производительность каждого гидроциклона составляет 3 м³/ч по жидкости.

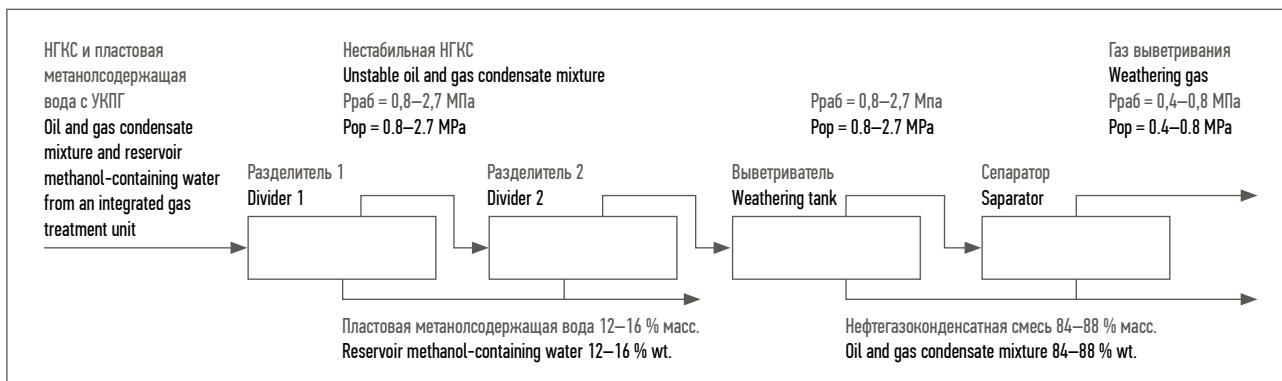


Рис. 5. Принципиальная схема УП ЖУВ филиала ООО «Газпром добыча Краснодар» – Вуктыльское ГПУ
 Fig. 5. Schematic diagram of the installation for the preparation of liquid hydrocarbons of the branch of Gazprom добыча Krasnodar LLC – Vuktylskoye gas field department



Рис. 6. Общий вид блока с экспериментальными образцами гидроциклонов, подключенных к УП ЖУВ
 Fig. 6. General view of the block with experimental samples of hydrocyclones connected to the the installation for the preparation of liquid hydrocarbons

Согласно требованиям технических условий ООО «Газпром добыча Краснодар», разработанная рабочая документация на трубопроводную обвязку экспериментальных образцов гидроциклонов и схема их подключения к действующим трубопроводам УП ЖУВ подвергнуты экспертизе промышленной безопасности. ООО «НИПИ НГ «Петон» смонтировало трубопроводную обвязку экспериментальных образцов гидроциклонов в блочно-модульном исполнении на единой раме. Габаритные размеры блока составили 2500 × 2500 × 4500 мм, масса ~ 2500 кг. Его подключе-

ние выполнено силами филиала ООО «Газпром добыча Краснодар» – Вуктыльским ГПУ без дополнительных врезок за счет демонтажа одного из фильтров, установленного на входе на УП ЖУВ перед разделителем. Общий вид блока, подключенного к трубопроводам УП ЖУВ, приведен на рис. 6.

Испытания экспериментальных гидроциклонов в промышленных условиях проводились в период с 15.09.2018 г. по 01.10.2018 г. в соответствии с утвержденными в установленном порядке технологическим регламентом, программой и методиками ис-

пытаний, а также инструкцией по охране труда и эксплуатации и обслуживанию экспериментального оборудования. Для разделения ответственности между ООО «НИПИ НГ «Петон» и филиалом ООО «Газпром добыча Краснодар» – Вуктыльским ГПУ издан совместный приказ «О безопасном выполнении работ». Подготовительные работы, строительно-монтажные работы по подключению оборудования, промышленные испытания и обсуждение результатов проводились под руководством рабочей комиссии, в состав которой входили представители Департамента ПАО «Газпром», ООО «Газпром добыча Краснодар», его филиала – Вуктыльского ГПУ и ООО «НИПИ НГ «Петон».

Разработанная технологическая схема блока позволила проводить испытания экспериментальных гидроциклонов по двум схемам (рис. 7):

- дегазация газожидкостной смеси в Гц-1 с последующим разделением эмульсии на НГКС и пластовую воду в Гц-2 (рис. 7а);
- разделение газожидкостной смеси на НГКС с растворенным газом и пластовую воду в Гц-2 с последующей дегазацией НГКС в Гц-1 (рис. 7б).

При проведении испытаний измеряли избыточное давление, температуру, объемные расходы

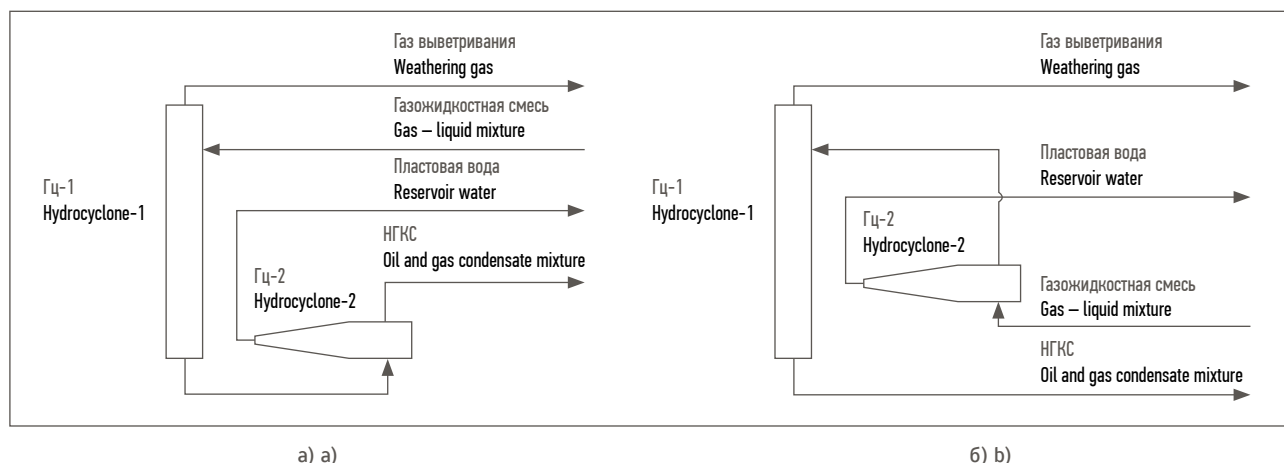


Рис. 7. Принципиальные схемы обвязки экспериментальных гидроциклонов при испытании в промышленных условиях: а) схема № 1; б) схема № 2
 Fig. 7. Schematic diagrams of strapping experimental hydrocyclones when tested in field conditions: a) scheme No. 1; b) scheme No. 2

смеси и продуктов ее разделения. Отобранные пробы смеси и продуктов ее разделения анализировались в химико-аналитической лаборатории Вуктыльского ГПУ.

При испытаниях по схеме № 1 подача смеси в Гц-1 составляла от 1 до 3 м³/ч. Этот гидроциклон обеспечивал дегазацию газожи-дкостной смеси за счет действия центробежных сил, в результате ее газовый фактор снижался на 35–72 %, при этом в газе выветривания, выходящем с верха Гц-1, отсутствовала пластовая вода. Перепад давления в Гц-1 составлял от 0,10 до 0,20 МПа.

После обработки в поле центро-бежных сил НГКС с пластовой водой выводилась из нижней части Гц-1 в горизонтальный отстойник, где происходило окончательное расслоение эмульсии на водную и углеводородную фракции. Время пребывания НГКС в отстойнике объемом 14 дм³ составляло около одной минуты. Пластовая вода из отстойника выводилась в дре-

нажную емкость. Качественное разделение эмульсии в отстой-нике устранило необходимость подключения Гц-2, предусмотренного для испытаний по схеме № 1. Плотность пластовой воды, выхо-дящей из отстойника, составляла 1,038–1,048 г/см³, содержание нефтепродуктов – 363–463 мг/дм³.

С увеличением производительности более 3 м³/ч или при значи-тельном увеличении содержания одной из фаз в газожи-дкостной смеси происходил сбой техноло-гического режима, в результате которого через верх и низ Гц-1 выходила газожи-дкостная смесь.

При испытаниях по схеме № 2 подача смеси в Гц-2 также со-ставляла от 1 до 3 м³/ч. За счет действия центробежных сил в гидроциклоне происходило раз-деление смеси на тяжелую фазу, состоящую в основном из пласто-вой воды (80–90 % об.), и легкую фазу, состоящую в основном из НГКС (85–95 % об.). Плотность пла-стовой воды, выделенной из тяже-

лой фазы, лежала в диапазоне от 1,035 до 1,045 г/см³, а содержание в ней нефтепродуктов – от 50,2 до 133,0 мг/дм³. Перепад давления в Гц-2 составлял от 0,05 до 0,07 МПа.

Легкая фаза из Гц-2 направля-лась в Гц-1. За счет закручивания потока Гц-1 обеспечивал дегаза-цию НГКС, в результате которой ее газовый фактор снижался в сред-нем на 25 %. Перепад давления в Гц-1 составлял от 0,05 до 0,07 МПа.

При проведении испытаний по схеме № 2 было установлено, что неравномерность компонентного состава и увеличение произво-дительности > 3 м³/ч в меньшей степени оказывают влияние на работу Гц-2, чем на работу Гц-1.

Материальный баланс процесса зависел от компонентного состава смеси и изменялся в следующих пределах: выход газа выветривания составлял до 1,2 % масс., выход пластовой воды – от 6,7 до 16,8 % масс., выход НГКС – от 78,1 до 87,3 % масс., потери – до 5 % масс.

neftegaz.gubkin.ru

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

2019
 22-25
 АПРЕЛЯ



МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
 НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
 НЕФТЬ И ГАЗ 2019



INTERNATIONAL YOUTH
 SCIENTIFIC CONFERENCE
 OIL AND GAS 2019

#НЕФТЬиГАЗ2019
 #OilandGAS2019



Более
 400
 организаций

Более
 800
 научных
 докладов

Более
 2000
 участников

Микроскопический анализ разгазированной пробы смеси НГКС с пластовой водой, выходящей из нижней части Гц-1, показал, что в углеводородной фазе содержатся парафины и отсутствуют диспергированные капли воды (рис. 8). Анализ проводился на микроскопе МИКМЕД-6 вар. 74 при 500-кратном увеличении. Приведенный результат свидетельствует о том, что за счет центробежных сил в гидроциклоне интенсифицируется не только процесс дегазации газоконденсатной смеси, но и процесс разделения эмульсии.

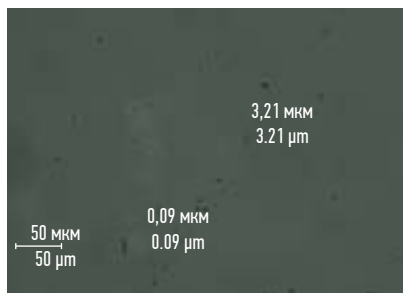


Рис. 8. НГКС, полученная разгазированием пробы с низа гидроциклона 1

Fig. 8. Oil and gas condensate mixture obtained by degassing a sample from the bottom of a hydrocyclone 1

ний, на углеводородную и водную фазы, так и для ускорения процесса дегазации.

Наибольшего эффекта от применения гидроциклонов можно добиться, если использовать их в качестве устройств ввода для сепарационно-разделительного оборудования. В этом случае для окончательного разделения смеси потребуются аппарат уже с меньшими массогабаритными параметрами по сравнению с разделителем, куда исходная газо-жидкостная смесь направлялась бы

без обработки в циклонном устройстве.

При реконструкции сепарационно-разделительного оборудования эффект от применения циклонных устройств на действующих установках подготовки газа достигается за счет возможности переработки трудно разделяемых эмульсий с одновременным увеличением пропускной способности оборудования.

На вновь проектируемом сепарационно-разделительном оборудовании эффект от применения устройств ввода циклонного типа заключается, кроме этого, в уменьшении занимаемой ими площади или повышении их производительности.

В связи с этим применение устройств ввода газо-жидкостной смеси циклонного типа, разработанных ООО «НИПИ НГ «Петон», признано перспективным решением, направленным на интенсификацию технологии добычи углеводородов на действующих и вновь разрабатываемых газоконденсатных месторождениях ПАО «Газпром». ■

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытания экспериментальных гидроциклонов в промышленных условиях на УП ЖУВ филиала ООО «Газпром добыча Краснодар» – Вуктыльское ГПУ подтвердили, что конструкторские и технологические решения, принятые при их разработке, позволяют использовать гидроциклоны как для разделения эмульсии, образующейся при эксплуатации газоконденсатных месторожде-

ЛИТЕРАТУРА

1. Providing over 75 years of technology – driven solutions // Annual report 2002. 80 pp. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.natcogroup.com> (дата обращения: 23.03.2019).
2. Ахсанов Р.Р. Применение гидроциклонирования для интенсификации комплексной подготовки нефти в промышленных условиях. Дис. ... д. т. н. Уфа. 2002. 241 с.
3. Баранов Д.А. Принципы расчета и конструирования гидроциклонов для разделения эмульсий. Дис. ... д. т. н. Москва, 1996. 359 с.
4. Баранов Д.А., Пронин А.И., Диков В.А. и др. Гидроциклоны для химических производств и установок очистки оборотных и сточных вод // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2007. № 7. С. 20–22.
5. Адельшин А.А., Адельшин А.Б. Пилотная установка очистки нефтепромысловых сточных вод на основе использования закрученных потоков // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 2 (16). С. 166–172.
6. Carlos Hernán Gómez. Oil-water separation in liquid-liquid hydrocyclones (LLHC) experiment and modeling. A thesis approved for the discipline of petroleum engineering. The University of Tulsa, 2001. 108 с.
7. Иванов А.А. Расчет и конструирование сепарационных аппаратов на основе структурного анализа гидродинамики закрученных потоков. Дис. ... д. т. н. 05.17.08 / Дзержинск, 1998. 270 с.
8. ГОСТ 15.101-98. Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ. 09.03.1999. М.: ВНИИСтандарт, 1999. 7 с.

REFERENCES

1. Providing over 75 years of technology – driven solutions // Annual report 2002. 80 pp. [Electronic source]. Access mode: URL: <http://www.natcogroup.com> (access date: March 23, 2019). (In Russian)
2. Akhsanov R.R. The use of hydro-cycloning to intensify the complex preparation of oil in field conditions. Doc. Sci. (Eng.) Dissertation. Ufa. 2002. 241 p. (In Russian)
3. Baranov D.A. Principles of calculation and design of hydrocyclones for the separation of emulsions. Doc. Sci. (Eng.) Dissertation. Moscow, 1996. 359 p. (In Russian)
4. Baranov D.A., Pronin A.I., Dikov V.A., et al. Hydrocyclones for chemical plants and plants for the treatment of recycled and waste waters. // Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie = Chemical and oil and gas engineering. 2007, No. 7, P. 20–22. (In Russian)
5. Adelshin A.A., Adelshin A.B. Pilot installation of oilfield wastewater treatment based on the use of swirling flows // Izvestiya Kazanskogo arkhitekturno-sruoitelnogo universiteta = News of Kazan state architecture and construction university. 2011, No. 2 (16), P. 166–172. (In Russian)
6. Carlos Hernán Gómez. Oil-water separation in liquid-liquid hydrocyclones (LLHC) experiment and modeling. A thesis approved for the discipline of petroleum engineering. The University of Tulsa, 2001, 108 p.
7. Ivanov A.A. Calculation and design of separation devices based on the structural analysis of the hydrodynamics of swirling flows. Doc. Sci. (Eng.) Dissertation. Dzerzhinsk, 1998. 270 p. (In Russian)
8. State Standard GOST 15.101-98 System development and production of products for production. The order of research. 09.03.1999. M.: VNI-standard, 1999. 7 p.