

И.Ю. Портнов (ООО «Электрол Продукт», г. Казань, Россия);
С.И. Поникаров, д-р техн. наук (Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия);
С.А. Соловьев, О.В. Соловьева, кандидаты физ.-мат. наук
 (Казанский государственный энергетический университет, Россия) E-mail: electrol@mail.ru

Сепаратор с использованием принципа гравитационно-динамического разделения эмульсий (типа вода — нефть) для решения различных задач нефтегазодобычи, нефтехимии и экологии

Разделение водонефтяных эмульсий является важным процессом в различных отраслях промышленности.

С увеличением населения и развитием технологий спрос на нефть и газ постоянно возрастает [1, 2], в связи этим расширяется бурение на шельфе [3].

Сырая нефть обычно добывается в виде водонефтяной эмульсии [4, 5], для разделения водной и нефтяной фаз эмульсии преимущественно применяется гравитационное разделение в сепараторах с применением химического, электрохимического и механического методов обработки [6] для повышения эффективности разделения.

Гравитационные сепараторы также применяются для разделения дисперсий во многих отраслях промышленности.

Сепараторы применяются на первом этапе производственной линии обработки нефти (между скважиной и нефтепроводом).

Во время транспортировки сырая нефть, вода и попутный газ образуют сложную многофазную систему.

Газовая фаза легко отделяется из-за расслоения. Водонефтяные эмульсии обычно стабильны и их трудно разделить, поэтому для разрушения эмульсий, ускорения дестабилизации и улучшения разделения добавляются химические компоненты [7].

Конструкция гравитационного сепаратора (для разделения водонефтяной эмульсии под действием силы тяжести в вертикальном или горизонтальном сосуде) основана на разделении несмешивающихся

фаз по разнице в плотности, поэтому это, как правило, оборудование больших габаритных размеров.

В связи с этим необходима разработка прогностических моделей для модернизации и разработки сепараторов.

Некоторые методы разделения основаны на экспериментах, в которых эмульсия подготавливается путем механического перемешивания [8]. Кинетика разделения эмульсий — сложный процесс, который зависит от состава сырой нефти и воды, деэмульгатора, объемных долей компонентов и параметров процесса перемешивания. Разделение эмульсии начинается сразу после перемешивания, однако происходит очень медленно. Вязкость эмульсии увеличивается с увеличением объемной доли водяной фазы и может быть на несколько порядков больше, чем вязкость непрерывной нефтяной фазы [9].

Актуальными задачами в нефтедобывающей отрасли являются увеличение глубины промысловой подготовки нефти, очистка и утилизация пластовых вод.

В газовом секторе необходимы очистка газового конденсата от воды и очистка диэтиленгликоля от смолистых загрязнителей, в промышленной экологии — очистка сточных вод от нефтепродуктов и жиров. Одним из решений данных задач может быть применение гравитационно-динамических сепараторов (ГД-сепараторов) [10].

ГД-сепараторы — устройства, реализующие комплексный подход к разделению эмульсий. Во взаимосвязанных пропорциях обеспечиваются: гашение скорости вход-

ного потока подаваемой эмульсии; подача эмульсий с высокой и низкой концентрациями нефтепродуктов в гидрофобный и гидрофильный жидкостные фильтры; гравитационное разделение жидких фаз; активная коалесценция тонкодисперсных компонент и разрушение глобул воды.

В ГД-сепараторе реализован принцип гидростатического и гидродинамического регулирования выгрузки разделенных нефти и воды.

Принципиальным отличием ГД-сепараторов от традиционных сепараторов является схема распределения фаз жидкостей в сепарационной емкости (**рис. 1**).

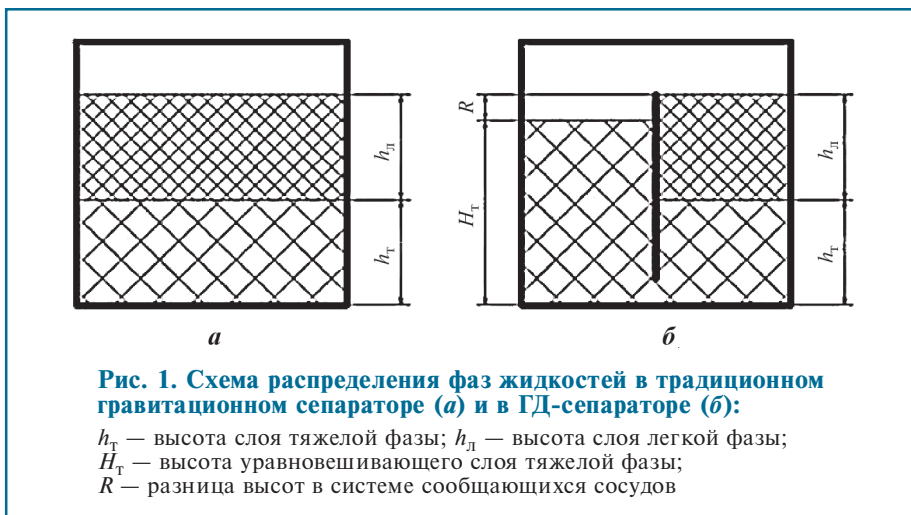
В традиционных сепараторах внизу — слой тяжелой фазы (воды), вверху — слой легкой фазы (нефти); в ГД-сепараторе столб тяжелой фазы уравнивается столбом, состоящим из легкой и тяжелой фаз.

Положение границы раздела двух сред (фаз) задается в соответствии с формулой

$$R = h_{\text{л}} (1 - \gamma),$$

где R — разность значений высоты перелива компонентов; $h_{\text{л}}$ — высота слоя легкой фазы; γ — отношение значений плотностей легкой и тяжелой фаз.

Таким образом, граница раздела фаз всегда находится в оптимальном положении и дополнительно не контролируется. ГД-сепараторы совершенно не чувствительны к содержанию компонентов в эмульсии: при любых соотношениях фаз эмульсии вода отбирается из водяной секции, а нефть — из нефтяной секции, причем без использования автоматики.



По сути, приведенной формулой определяются условия протекания процессов жидкостной динамической фильтрации (гидрофильной и гидрофобной), при этом функцию фильтров для эмульсии выполняют компоненты эмульсии (например, для водонефтяной эмульсии такими фильтрами будут чистые вода и нефть).

Следует отметить, что при данной компоновочной схеме сепаратора (см. рис. 1, б) легко выровнять значения давлений на выходе нефти и на выходе воды, что является проблемой при добыче и первичной подготовке нефти.

Также принципиальными особенностями представленных ГД-сепараторов [10] являются новая запатентованная схема коалесцентного фильтра (перегородки установлены в шахматном порядке) и совмещение жидкостной динамической фильтрации с тонкослойным отстаиванием.

Разработанные технические решения позволяют повысить эффективность разделения или очистки эмульсии до 97,0...99,9 % и более, минимизировать энергопотребление и эксплуатационные расходы.

Сущность метода разделения эмульсии в ГД-сепараторе (рис. 2) заключается в ламинаризации потока жидкости, при этом исключается влияние турбулентных потоков на процесс разделения.

В сепарационной емкости 1 сепаратора установлена приемная буферная емкость 3 для гашения ско-

рости входного потока технологической жидкости, входящей через патрубок 2, а также для равномерного распределения подачи жидкости по всей ширине ГД-сепаратора.

Для улучшения равномерности подачи жидкости в приемной буферной емкости 3 выполнено щелевидное отверстие 4 (по всей ширине сепарационной емкости 1) для выхода жидкости.

По направляющим в сепарационной емкости 1 свободно устанавливаются модули тонкослойных отстойников 6 (рамы, например, с V- или W-образно набранными пластинами).

В зависимости от размеров сепаратора этих модулей может быть несколько.

Тонкослойные отстойники предназначены для интенсификации процесса удаления углеводородов, механических частиц из воды отстаиванием в тонком слое.

Секция 7 предназначена для сбора и удаления из сепаратора очищенных от воды углеводородов через патрубок 11.

Подвижное корыто 9 с возможностью регулирования положения по высоте тягами 8 регулирующего устройства предназначено для сбора очищенной от углеводородов и механических примесей воды и удаления ее посредством гибкого рукава 10 через патрубок 12.

При этом положение нижней кромки перегородки 13, определяющее уровень отбора воды на выгрузку из сепаратора, необходимо распо-

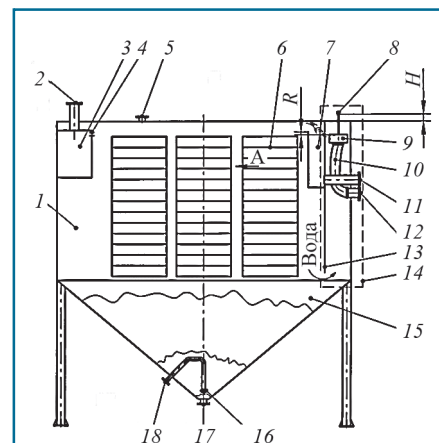


Рис. 2. Схема общего вида гравитационно-динамического сепаратора с тонкослойным отстаиванием:

- 1 — сепарационная емкость;
- 2 — патрубок;
- 3 — буферная емкость;
- 4 — щелевидное отверстие;
- 5 — патрубок для заполнения сепаратора водой;
- 6 — отстойник;
- 7 — секция для сбора и удаления из сепаратора легкой фракции;
- 8 — тяги;
- 9 — подвижное корыто;
- 10 — гибкий рукав;
- 11 — патрубок удаления очищенных от воды углеводородов;
- 12 — патрубок удаления очищенной от углеводородов воды;
- 13 — перегородка;
- 14 — выгрузный узел;
- 15 — пирамидальная емкость;
- 16 — патрубок для слива воды;
- 17 — система форсунок;
- 18 — патрубок для подачи воды на систему форсунок

лагать (по возможности) на нижнем уровне сепарационной емкости 1 — для отбора воды с наименьшим содержанием углеводородов.

Пирамидальная емкость 15 предназначена для сбора и удаления механических примесей путем откачки их вместе с водой насосом (на рис. 2 не показан) через патрубок 17. Внутри пирамидальной емкости 15 расположена система форсунок 16 для размыва осадка в случае забивания патрубка 17.

Вода на форсунки подается насосом через патрубок 18.

Патрубок 5 предназначен для предварительного заполнения сепаратора водой.

Предприятием ООО «Электрол Продукт» кроме того также разрабо-



Рис. 3. Схема ГД-сепаратора с коалесцентным фильтром

таны другие конструкции ГД-сепараторов: в частности, вместо тонкослойного отстойника применена новая (запатентованная) схема коалесцентного фильтра в виде перегородок, установленных в шахматном порядке (**рис. 3**); разработаны конструкции без гибких рукавов и регулировочных устройств.

Данные конструкции предпочтительны для изготовления ГД-сепараторов в виде железобетонных ям и колодцев.

Достоинства ГД-сепараторов:

— высокое качество очистки воды от нефтепродуктов и нефтепродуктов от воды;

— не регламентированное содержание нефтепродуктов в исходной эмульсии (условно от 20 мг/л до 97 % мас.);

— простота конструкции и обслуживания.

Реализованные проекты с применением ГД-сепараторов представлены на **рис. 4**.

Перспективные области применения ГД-сепараторов см. в **таблице**.

Разработана программа расчета параметров ГД-сепаратора методом моделирования для повышения эффективности разделения эмульсии при разных параметрах компонентов (работа финансирована Фондом содействия инновациям).

Получены положительные результаты испытаний ГД-сепаратора по разделению водонефтяной эмульсии на нефть и воду (нефтедобыча),



ГДС-50 – комплекс по утилизации нефтешламов, эксплуатируется на Лисичанском НПЗ

ГДС-60 — работает в составе государственного первичного эталона учета массового расхода сырой нефти

ГДС-4 — гравитационно-динамический сепаратор производительностью 4 м³/ч

Рис. 4. Реализованные проекты

Область применения ГД-сепараторов	Назначение	Потребители	Производительность, м ³ /ч
Добыча и подготовка нефти	Очистка пластовой воды от нефти и нефти от воды	Нефтегазодобывающие управления	5...250
Металлообработка	Очистка моющих растворов, очистка и утилизация технологических растворов и эмульсий, в том числе смазочно-охлаждающих жидкостей, сбор вторичных масел и нефтепродуктов	Предприятия машиностроения (автозаводы и т. д.)	1...15
Ремонт машин, механизмов, транспортных средств	Очистка моющих растворов, снижение сброса в канализацию вторичных нефтепродуктов, сбор вторичных нефтепродуктов	Ремонтные предприятия	10...25
Химическая и нефтехимическая промышленность	Разделение и очистка углеводородного сырья и воды, подготовка технологических эмульсий	Химические и нефтехимические предприятия	5...100
Охрана окружающей среды	Очистка сточных вод от нефтепродуктов, жиров, тяжелых и радиоактивных металлов (при этом ГД-сепараторы могут быть в виде колодцев, железобетонных ям, а также мобильными — на базе любого вида транспорта)	Производственные предприятия и другие организации	10...2500
Подготовка жидкого топлива к использованию	Очистка жидкого топлива (всех видов) от воды	Автозаправки, автохозяйства, морские и речные порты, аэропорты	1...10

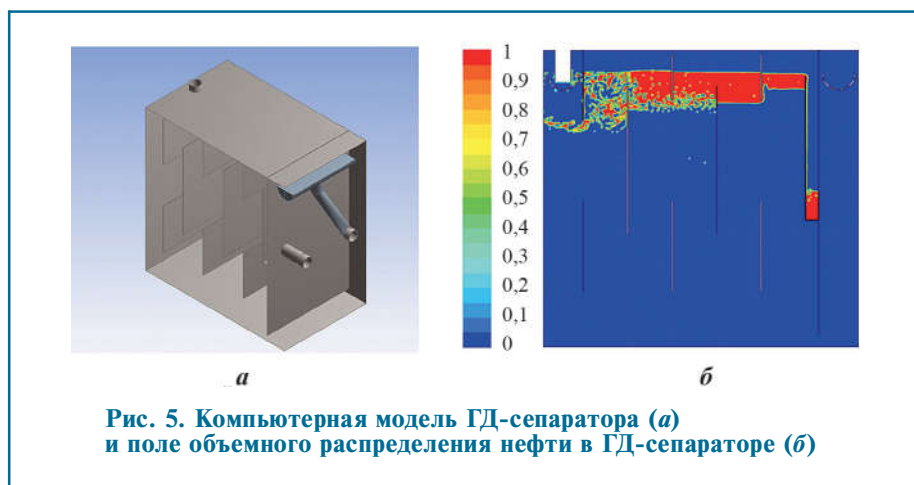


Рис. 5. Компьютерная модель ГД-сепаратора (а) и поле объемного распределения нефти в ГД-сепараторе (б)

по очистке диэтиленгликоля от смолистых загрязнителей (газодобыча), по очистке промышленных сточных вод от нефтепродуктов и жиров (экология), по очистке легкой пиролизной смолы от воды (нефтехимия).

Численным моделированием процесса разделения эмульсии в ГД-сепараторе в программном комплексе ANSYS Fluent (v. 19.2) подтверждена эффективность предложенной технологии сепарирования.

Пример — компьютерная модель (рис. 5, а) и данные расчета объемного распределения нефти в сепараторе (см. рис. 5, б).

Внедрение высокоэффективных ГД-сепараторов на предприятиях нефтедобычи позволит обеспечить повышение глубины промысловой подготовки нефти и воды, снижение капитальных и эксплуатационных затрат.

Кроме того, это позволит снять ограничения с ввода в разработку месторождений с большим водонефтяным фактором и сложными физико-химическими свойствами эмульсий, а также краевых залежей, и будет способствовать решению других аналогичных задач, связанных с повышенной или возрастающей обводненностью продукции скважин.

Повышение эффективности обезвоживания водонефтяных эмульсий позволит обеспечить создание условий для сокращения удельного расхода деэмульгаторов и электроэнергии.

Предлагаемая технология ГД-сепарирования перспективна для множества областей применения.

Только в области нефтегазодобычи возможна реализация следующих проектов.

1. Разработка типоразмерного ряда трехфазных ГД-сепараторов для разделения продукции нефтяных скважин (разделение водонефтяной эмульсии).

2. Реконструкция действующих отстойников нефтегазодобывающих управлений.

3. Разработка ГД-сепараторов для очистки пластовых вод.

4. Разработка ГД-сепараторов для очистки диэтиленгликоля от смолистых загрязнителей.

5. Разработка ГД-сепараторов для очистки газового конденсата от воды или водометанольного раствора.

Партнеры по разработке оборудования:

ООО «Электрол Продукт»;

Казанский национальный исследовательский технологический университет;

Казанский федеральный университет;

Казанский государственный энергетический университет.

Список литературы

1. Nguyen M.T., Nguyen N.T., Cho J. et al. A review on the oil-soluble dispersed catalyst for slurry-phase

hydrocracking of heavy oil // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2016. V. 43. P. 1–12.

2. Shukla A., Karki H. Application of robotics in offshore oil and gas industry A review Part II // Robotics and Autonomous Systems. 2016. V. 75. P. 508–524.

3. Liu Y., Hu C., Sun C. et al. Assessment of offshore oil/gas platform status in the northern Gulf of Mexico using multi-source satellite time-series images // Remote Sensing of Environment. 2018. V. 208. P. 63–81.

4. Li Y., Gong H., Dong M., Liu Y. Separation of water-in-heavy oil emulsions using porous particles in a coalescence column // Separation and Purification Technology. 2016. V. 166. P. 148–156.

5. Santos D., da Rocha E.C., Santos R.L. et al. Demulsification of water-in-crude oil emulsions using single mode and multimode microwave irradiation // Separation and Purification Technology. 2017. V. 189. P. 347–356.

6. Kang W., Yin X., Yang H. et al. Demulsification performance, behavior and mechanism of different demulsifiers on the light crude oil emulsions // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2018. V. 545. P. 197–204.

7. Kilpatrick P.K. Water-in-crude oil emulsion stabilization: review and unanswered questions // Energy & Fuels. 2012. V. 26. № 7. P. 4017–4026.

8. Frising T., Noik C., Dalmazzone C. The liquid/liquid sedimentation process: from droplet coalescence to technologically enhanced water/oil emulsion gravity separators: a review // Journal of dispersion science and technology. 2006. V. 27. № 7. P. 1035–1057.

9. Tadros T. Interparticle interactions in concentrated suspensions and their bulk (Rheological) properties // Advances in colloid and interface science. 2011. V. 168. № 1–2. P. 263–277.

10. Пат. РФ 2013106536/05, 14.02.2013 Способ разделения неустойчивых эмульсий и устройство для его осуществления (варианты) / И.Ю. Портнов, А.В. Мильчаков, А.П. Жарковский, П.А. Петрушенков. 20.08.2014. Бюл. № 23.