

Промысловая подготовка нефти с использованием электрических полей - проблемы и перспективы. Часть 1.

Продукция нефтедобывающих скважин представляет собой высокодисперсную эмульсию капель воды, взвешенных в нефти, причем в зависимости от месторождения, способа и стадии добычи обводненность ее может колебаться от единиц до 70+80% и более. При этом пластовая вода, извлекаемая с нефтью, очень часто, особенно на поздних стадиях разработки, насыщена растворенными солями, в основном хлоридами, до состояния рассола (десятки и сотни тысяч миллиграммов на литр). Кроме того, нефтяная эмульсия содержит в тех или иных концентрациях механические примеси, сероводород, сульфид железа, частицы породы и иные примеси. Добываемая эмульсия имеет свойство быстро (в течение часов) «стареть», что проявляется в формировании так называемых «бронированных» оболочек на каплях воды, многократно повышающих стойкость эмульсии к расслоению.

Очевидно, что в таком состоянии продукцию скважин не только нельзя направлять на переработку (быстрая коррозия аппаратов и коммуникаций, отравление чрезвычайно дорогостоящих катализаторов, невозможность получения качественных нефтепродуктов и т.д.), но даже и транспортировать по трубопроводам (повышенная вязкость эмульсии по сравнению с безводной нефтью, расходы на перекачку балласта, большая теплоемкость при нагреве). Поэтому поступлению нефти на НПЗ предшествует неизбежная стадия промысловой подготовки ее к переработке.

В настоящее время в связи с переходом все большего количества месторождений на поздние стадии разработки, характеризующиеся высокой обводненностью и минерализацией продукции скважин, а также, что еще серьезнее, широким вовлечением в разработку месторождений все более тяжелых карбоновых нефтей, образующих эмульсии аномально высокой стойкости, на фоне ужесточающихся требований к качеству товарной нефти проблема ее подготовки приобретает все большую остроту и актуальность.

Схематично стадия промысловой подготовки нефти включает несколько технологических операций (ступеней) в следующей последовательности:

1. Так называемый предварительный сброс легко отделяющейся воды (до 10-15%).

2. Глубокое обезвоживание (в зависимости от сорта нефти, стойкости эмульсии и технологических возмож-

ностей – до остаточного содержания воды 0,5-1%). Но при концентрации остаточной пластовой воды всего 0,1% содержание солей в нефти чрезмерно высоко и многократно превышает допустимые для ее переработки нормы. Поэтому безвозвратная нефть направляется на ступень обессоливания.

3. Обессоливание нефти.

Общим для операций обезвоживания и обессоливания нефти являются:

- предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях воды применением ПАВ-деэмульгаторов;

- их принудительная коалесценция (укрупнение);

- гравитационное разделение нефтяной и водной фаз.

Специфичными и очень важными для стадии обессоливания являются:

- ввод и диспергирование в обессоливаемую нефть пресной (промывочной) воды до оптимальной степени ее дисперсности;

- максимально эффективное смешение промывочной воды с обессоливаемой нефтью с целью обеспечения многократного контактирования капель пресной и пластовой вод и снижения общей концентрации солей.

Из всех известных в настоящее время способов деэмульсации нефти наиболее прогрессивными и эффективными являются способы электродеэмульсации /1, 2/, применяемые как на стадии глубокого обезвоживания (как правило), так и на стадии обессоливания (всегда). В частности, глубокое обезвоживание поступающей с промыслов нефти (до 3÷5 мг/л солей) на НПЗ достигается только с применением аппаратов для электрического обезвоживания и обессоливания нефти – электродегидраторов (ЭДГ), причем в каскадном включении. Выпускающиеся в России серийные ЭДГ представляют собой вертикальные (ЭДВ-8 и ЭГ20В-12 – объемом 8 и 20 м³) и горизонтальные (ЭГ 63, ЭГ 100, ЭГ 160 и ЭГ 200 объемом, соответственно, 63, 100, 160 и 200 м³) сосуды со смонтированной в них системой решетчатых горизонтальных неизолированных электродов, системой ввода высокого переменного напряжения и размещенным на аппарате высоковольтным трансформатором (одним или двумя) с системой управления и защиты.

Если ЭДГ установлен на ступени обессоливания, то на входной линии должны быть установлены устройства для подачи пресной промывочной воды и нефти (смесительная задвижка, гидродинамический смеситель той или иной

Oil treating using electric fields – problems and prospects. Part 1.

Oil producer production is superfine emulsion of water drops, suspended in the oil and depending on oil field, recovery mechanism and extraction stage its water cut may range from units till 70-80% and more. Thus, formation water, recovered with oil is saturated with dissolved salts very often, especially on late development stages, basically with chlorides to the return brine status (ten and hundred thousands milligrams per liter). In addition, an oil emulsion contains mechanical impurities, hydrogen sulfide, iron sulfide, fragments of formation and other admixtures in some concentrations. Mined emulsion has a property to grow old fast (within hours), that is exhibited in forming of so-called "reserving" mantles on the water drops, which rise emulsion stability to disintegration manifold. It is obvious, that in such state it is impossible to refer the well production to the refinement (fast corrosion of devices and utility lines, poisoning of extremely expensive catalyzers, impossibility of production qualitative oil productions etc.), as well as pipe (raised viscosity of emulsion in comparison with anhydrous oil, expenses on ballast transit, big heat capacity when heating). Therefore necessary oil treating stage to its refinement foregoes ingress of oil to the Petroleum refinery. Nowadays due to the transferring increasing quantity of oil fields to the late development stages, characterized by a high water cut and mineralizing of well production as well as wide involving overweight carboxylic oils in a field development, forming emulsions extremely high stability, which is more serious against the quality specifications of separator oil, becoming tougher, oil treating problem gets sharper and more actual.

Schematically an oil treating stage includes some technological operations (stages) on the following order:

1. So-called pre-award sea disposal of self-detaching water (under 10-15%).

2. Deep dehydration (depending on an oil grade, an emulsion stability and technological possibilities – to residual water content 0,5-1%). But when concentration of residual formation water is only 0,1%, salt content in oil excessively high and exceeds acceptable refinery norms manifold. Therefore dry oil goes to the desalting stage.

3. Oil desalting.

There are some specific and very important points for desalting stage:

- entry and dispersion fresh (wash) water to the desalted oil till the optimal its dispersion degree;

- maximum effective mixing of wash water with desalted oil in order to provide multiple drop contacting of sweet and formation water and decrease general salt content.

From all known nowadays oil demulsification methods the most progressive and effective methods are electro emulsification methods / 1, 2/, applied both at a deep dehydration stage (as a rule) and at a desalting stage (always). Particularly, deep oil desalting incoming from an oil fields (up to 3-5 mg/l of salts) to the Petroleum refinery is only achieved using devices for electrical dehydration and oil desalting – electro dehydrators (EDH), though in a cascade. Serial EDH produced in Russia are vertical (EDV – 8 and EG20V-12 – volume 8 and 20m³) and horizontal (EG 63, EG 100, EG 160 and EG 200 volume 63, 100, 160 and 200m³ respectively) vessels with lattice horizontal uninsulated electrode system, mounted to them with entry system of high ac voltage and high-voltage transformer located on the device (one or two) with control and protection system.

If EDH is erected at a desalting stage, water and oil supply devices (mixing gate, hydrodynamic mixer of any construction, electro-spraying device etc.) should be erected on an input line. However, rather wide application EDH of line EG in Russia cannot be considered as a consequence of there perfection. Depth of dehydration and desalting of an average-density oils, let alone high-gravity carboxylic, highelectroconductive, is far from required, therefore these devices range forcedly into two or more stages, as a rule. Though oil mechanical engineering in Russia nowadays is unable to offer better alternative to these out-of-date moral, technically and technologically devices.

In spite of seeming appeal and construction simplicity traditional EDH initially have some defects and contradictions, first of which is a principal defect, consisting in vertical emulsion upward flow, opposite to the gravitational sediment process of the evolved water to the strongest extent, is exposed to the electro-treatment (for the purpose of coarsening of emulsified water drops).

Due to this circumstance extremely low vertical emulsion velocity cannot neither prevent nor even reduce forming probability of the conducting chains consist of mineralized water drops, closing electrodes and disconnecting the power-supply system, as well as confines devices productivity sharply. This fact, in turn, in the aggregate with a big effective area of electrodes (for example in EG200 device – 17.4m²), necessity of significant emulsion heating (to reduce the amount of viscosity and coalescence facilitation), even when there are no electrobreak-downs causes high value of input current and, accordingly, demands using high-capacity power supplies with attendant unreasonable power over expenditure. Thus rather small value of energy is enough to coalescence process.

Standard lattice construction of electrode systems EDH, usually applied, principally unable to provide 100 percent coverage of treated oil by electrical action that makes worse its preparation quality.

One more defect: preliminarily treated emulsion with low concentration of tiny water drops, situated on a big distance from each other, enters, between a water mirror (working as a grounded electrode) and the lowest potential electrode, to the main electro-treatment zone between high-grade electrodes from low part of EDH. Approaching and coalescence of such drops is extremely hard and hardly probable therefore most of them are sped away with an oil stream, reducing its dehydration and desalting depth.

Besides, traditional EDH is very inertial: dehydration or desalting degradation and frustration of technological mode may be identified only in 1-2 hours after they came. As a result the odds of going out from the mode of plant for oil treating and decrease of quality emulsion processing is great.

It has to be mentioned that Natco company (Canada) performed modernization of traditional EDH and created the so called "system of electro dynamic desalting" (EDD) which ensures good quality of desalting process due to a range of technical and technological solutions, such as input and electric dispersion of fresh water immediately into interelectrode space; application of specific framework system of vertical plate solid electrode; irregular system for feeder pressure changes in time, and combination of alternating and direct electrostatic fields. However, those EDHs are, obviously, expensive, make extremely rigid requirements to

конструкции, электропульверизирующий аппарат и т.п.). Однако, достаточно широкое использование в России ЭДГ серии ЭГ нельзя, считать следствием их совершенства. Глубина обезвоживания и обессоливания средних по плотности нефтей, не говоря уже о тяжелых карбоновых, высокоэлектропроводных, далека от требуемой, поэтому, как правило, эти аппараты вынужденно выстраивают в две и более ступеней. Тем не менее, на данный момент нефтяное машиностроение России не в состоянии предложить более совершенную альтернативу этим морально, технически и технологически устаревшим аппаратам.

При всей кажущейся привлекательности и простоте конструкции традиционным ЭДГ изначально присущ ряд недостатков и противоречий, первый из которых носит характер принципиального порока, заключающегося в том, что электрообработке (с целью укрупнения капель эмульгированной воды) подвергается вертикальный восходящий поток эмульсии, в сильнейшей степени противодействующий процессу гравитационного отстоя выделяемой воды.

Диктуемая этим обстоятельством крайне низкая вертикальная скорость эмульсии не может ни предотвратить, ни даже сколько-нибудь снизить вероятность формирования проводящих цепочек из капель минерализованной воды, замыкающих электроды и отключающих систему электропитания, а также резко ограничивает производительность аппаратов. Это, в свою очередь, в совокупности с большой эффективной площадью электродов (например, в аппарате ЭГ200 – 17,4 м²), необходимостью значительного нагрева эмульсии (для снижения вязкости и облегчения коалесценции), даже в отсутствие электропробоев обуславливает высокие значения потребляемого тока и, соответственно, требует использования источников питания высокой мощности с сопутствующим нерациональным перерасходом электроэнергии. При этом на собственно процесс коалесценции достаточно весьма малой энергии.

Применяемая обычно стандартная решетчатая конструкция электродных систем ЭДГ принципиально не может обеспечить 100%-ного охвата обрабатываемой нефти воздействием электрического поля, что неизбежно ухудшает качество ее подготовки.

Еще один недостаток: в основную зону электрообработки между высо-

копотенциальными электродами из нижней части ЭДГ поступает предварительно обработанная между зеркалом воды (действующим как заземленный электрод) и нижним потенциальным электродом эмульсия с низкой концентрацией капель воды очень малых размеров, удаленных относительно друг от друга на большие расстояния. Сближение и слияние таких капель чрезвычайно затруднено и имеет очень низкую вероятность, поэтому они в большинстве своем уносятся потоком нефти, снижая глубину ее обезвоживания и обессоливания.

Кроме того, традиционные ЭДГ обладают большой инерционностью: ухудшение качества обезвоживания или обессоливания и срыв технологического режима возможно определить только через 1-2 часа после их наступления. В результате велика вероятность выхода УПН из режима и снижения качества обработки эмульсии.

Объективности ради следует отметить, что фирмой Natco (Канада), произведена модернизация традиционных ЭДГ и создана так называемая «система электродинамического обессоливания» (EDD), которая позволяет достичь хорошей степени обессоливания за счет ряда технических и технологических решений (ввод и электрическое диспергирование пресной воды непосредственно в межэлектродном пространстве; применение системы вертикальных пластинчатых сплошных электродов особой конструкции; сложная система изменения во времени питающего напряжения и комбинация переменного и постоянного электрических полей). Однако эти ЭДГ по очевидным причинам имеют высокую цену, предъявляют крайне жесткие требования к технологическому режиму (в частности, колебание расхода жидкости не выше 5%), качеству пресной воды и имеют опыт успешной эксплуатации только на нефтеперерабатывающих заводах на нефтях, существенно более легких, чем большинство российских.

По нашему мнению, принципиального повышения эффективности и экономичности в деэмульсации нефтей можно добиться, базируясь на подходе, предусматривающем разделение противоречащих друг другу в традиционных ЭДГ технологических операций: укрупнения капель эмульгированной воды и их гравитационного отстоя и осуществления их в разных аппаратах в оптимальных для каждого процесса режимах без взаимной конкуренции.

При этом процесс ввода в нефть промывочной воды и ее легко управляемое диспергирование электрическим полем до оптимальных размеров осуществляется в компактном и экономичном электропульверизирующем аппарате /3/, укрупнение капель эмульгированной воды происходит в компактных и экономичных электрокоалесцирующих аппаратах/4/, и только затем нефтяная эмульсия поступает для полного разделения фаз в отстойную аппаратуру. При необходимости после электропульверизирующего устанавливается электромассообменный аппарат, интенсифицирующий смещение пресной воды с остаточной пластовой.

Реализация такого подхода и уже имеющиеся в наличии базовые технические и технологические решения обеспечивают следующие несомненные преимущества:

1. Гибкость системы, обеспечиваемая возможностью компоновки компактных аппаратов в блоки с перекрытием широкого диапазона производительностей.

2. Временное отключение одного или части аппаратов в блоке для ремонта или обслуживания не приводит к полному срыву режима во всей технологической цепочке.

3. Ввиду небольшой площади электродов резко снижаются необходимая мощность, габариты источников питания, нерациональный расход электроэнергии.

4. Компактность аппаратов и, как следствие, небольшие межэлектродные расстояния позволяют использовать источники питания с пониженными значениями выходного напряжения. Результат – повышение безопасности эксплуатации, менее жесткие требования к проходным изоляторам, более высокая надежность как самих источников, так и высоковольтных кабелей.

5. На порядки более высокая по сравнению со стандартными ЭДГ скорость движения эмульсии в коалесценторах существенно снижает вероятность межэлектродных пробоев и их отключений, благодаря гидродинамическому подавлению процесса формирования проводящих цепочек.

6. Обеспечивается 100%-ный охват эмульсии воздействием электрического поля.

7. Простота изготовления корпусов, электродных систем, их низкая металлоемкость.

Это направление активно разрабатывается в настоящее время в

ЗАО «Нефтех» и нацелено на создание серии аппаратов нового поколения с применением электрических полей. Дополнительное использование в них современных нанотехнологий /5/ с получением специальных материалов для конструкций электродных узлов может обеспечить рост эффективности и ключевые конкурентные преимущества:

- увеличение глубины обезвоживания и обессоливания;
- значительное снижение удельных энергозатрат;
- увеличение надежности эксплуатации оборудования;
- саморегулирующиеся режимы нефтеобработки;
- снижение металлоемкости и стоимости оборудования.

В настоящее время авторским коллективом в ЗАО «Нефтех» производится разработка, макетные и опытные испытания аппаратов нового поколения с использованием электрических полей. Полученные результаты предполагаются опубликовать в последующих статьях.

Литература:

1. Швецов В.Н. Интенсификация процесса деэмульсации нефти с использованием электрокоалесценторов с изолированным экраном: Дисс. К.Т.Н., Казань, 1985, -219с.

2. Юнусов А.А. Интенсификация процесса деэмульсации высокоэлектропроводных нефтей: Дисс. К.Т.Н., Казань, 1989,-214с.

3. В.Н.Швецов и др. Эксплуатация электропульверизирующих аппаратов для подачи и смещения промывочной воды при обессоливания нефти, «Нефтяное хозяйство», 1994, №3, с.52-55.

4. В.Н.Швецов и др. Опыт эксплуатации электрокоалесценторов с перфорированным экраном для обессоливания нефти, «Нефтяное хозяйство», 1987, №2, с.68-71.

5. Фомин А.М. Конференция «Нанотехнологии – производству – 2006», Фрязино, 2006. тезисы докладов, с.39.

technological regime (in particular, variation of liquid consumption should be no more than 5%), quality of fresh water, and have history of successful implementation only in oil processing plants on oils, which are much more light than the majority of oils produced in Russia.

We think it is possible to get significant enhancement of effectiveness and efficiency of oil demulsification when following the approach that provides division in traditional EDH technological operations which contradict to each other, such as: enlarging of emulsified water drops and their gravitation sediment for further implementation in various devices in accordance with optimal for each process regimes without mutual competition. At the same time the input process of wash water into oil and its easily controlled dispersion by electrostatic field for optimal size is done through compact and efficient electric atomizer /3/, enlarging of emulsified water drops goes in compact and efficient electric coalescing devices /4/, and only then oil emulsion gets into sediment equipment for total phase division. After electric atomizer (if needed) electric mass exchanging equipment can be installed. It serves for intensified blending of fresh and irreducible formation water.

Implementation of the approach and already existing basic technical and technological solutions ensure the following evident benefits:

1. System flexibility provided by the possibility of compact equipment design into blocks covering wide range of capacities.
2. Temporary disconnection of one (or part of equipment) within the block for fixing or serving purposes does not lead to the total disruption in the entire technological chain.
3. Considering the fact that small space for electrodes is left, great decline is observed in terms of necessary power, frame of power source, and irrational consumption of electric power.
4. Compact size of equipment and, as a result, small interelectrode spaces allow using power sources with lower problem voltage point. It leads to exploitation safety growth, less rigid requirements to transmission insulators, better quality of sources themselves, as well as high-voltage cable.

5. Significantly higher (in comparison to standard EDH) speed of emulsion movement in coalescentors considerably decreases probability of interelectrode breakdowns and their deactivation due to hydrodynamic neutralization in the process of conducting chain formation.
6. Electrostatic field effect ensures 100% coverage of emulsion.
7. Simplicity in production of bodies, electrode systems, and their low steel intensity.

At present this trend is intensively developing at ZAO «Nefteh», and intends to produce a series of new generation equipment using electrostatic fields. Supplementary use of modern nanotechnologies /5/, where special materials are received for electrode assemblies building, is able to ensure the growth of effectiveness and key competitive benefits:

- Depth augmentation of dehydration and desalting;
- Significant decline of energy consumption density;
- Improvement of working equipment quality;
- Self-regulating conditions of oil processing;
- Reduction of steel intensity and equipment costs.