



## МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОДЕГИДРАТОРОВ – ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ

**ШВЕЦОВ Владимир Нисонович**  
Генеральный директор  
ЗАО «Нефтех», к.т.н., с.н.с.

**ЮНУСОВ Анас Анварович**  
Заместитель генерального директора  
по научной работе ЗАО «Нефтех», к.т.н., доцент



**Э**ксплуатируемым сегодня в России электродегидраторам (ЭДГ) присущ ряд существенных недостатков конструктивного и технологического характера. При этом отечественные производители этих устройств не только не дают никаких гарантий их работы, но и не обозначают критериев их применимости в конкретных условиях. В связи с этим для устранения недостатков и повышения эффективности и надежности работы ЭДГ целесообразно проводить их глубокую модернизацию. Промышленные испытания, проведенные после модернизации ЭДГ на объектах ОАО «Сургутнефтегаз» в 2013-2015 годах, показали возможность стабильной подготовки нефти и значительного увеличения производительности ЭДГ по сравнению с паспортными значениями.

В настоящее время ЭДГ используются при обессоливании нефти на всех без исключения нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) в составе электрообессоливающих установок (ЭЛОУ), а также на большинстве промысловых установок подготовки нефти (УПН) как на ступени глубокого обезвоживания, так и на ступени обессоливания. Примечательно, что столь широкое распространение ЭДГ обусловлено отнюдь не высокой степенью их совершенства, а банальным отсутствием более эффективной, надежной и экономичной альтернативы.

Российский парк ЭДГ сегодня в подавляющем большинстве представлен горизонтальными аппаратами отечественного производства в диапазоне объемов от 63 до 200 м<sup>3</sup>, а на ряде НПЗ – еще и давно морально и физически устаревшими, архаичными шаровыми ЭДГ объемом 600 м<sup>3</sup>. Далее речь пойдет только об аппаратах горизонтального типа. Как правило, это аппараты с нижним распределенным вводом сырья под слой подтоварной воды и верхним выводом товарной нефти через сборный коллектор. Электродная система включает в себя нижний потенциальный и верхний заземленный горизонтальные решетчатые стальные электроды.

### НЕДОСТАТКИ ЭДГ

Анализ опыта эксплуатации ЭДГ и результаты исследований в области электродеэмульсации нефтей показывают, что этим аппаратам изначально присущ ряд хронических недостатков технического и технологического характера, существенно ограничивающих их эффективность, надежность, экономичность и препятствующих реализации потенциальных возможностей, заложенных в электрическом методе деэмульсации нефтей [1].

К очевидным и несомненным недостаткам этих аппаратов относятся высокая вероятность межэлектродных пробоев, неизбежная при использовании ме-

таллических электродов. Механизм этого явления хорошо известен и обусловлен действием диэлектростатических сил, втягивающих поляризованные капли воды в области локальных неоднородностей электрического поля с повышенной напряженностью и выстраивающих проводящие структуры-цепочки. Процесс протекает спонтанно и неуправляемо вплоть до короткого замыкания электродов и последующего аварийного отключения высоковольтного источника питания (ВИП). Кроме того, короткие замыкания электродов влекут за собой интенсивное диспергирование капель эмульгированной воды до мельчайших размеров, исключающих возможность их дальнейшего укрупнения [2]. Именно поэтому такие ЭДГ крайне чувствительны к концентрации водной фазы в эмульсии, поступающей в их межэлектродное пространство – для них это критичный параметр.

Важной характеристикой ЭДГ служит степень охвата обрабатываемой эмульсии электрическим полем (или объем электрического поля), определяющая длительность пребывания ее в поле, которая должна быть достаточна для эффективного осуществления относительно продолжительной транспортной стадии процесса электрокоалесценции. Между тем, например, в ЭДГ ЭГ-60 объем электрического поля составляет около 8% общего объема аппарата, а длительность обработки эмульсии в поле – чуть более 7% общего времени ее пребывания в ЭДГ.

Попытка же увеличить продолжительность электрообработки эмульсии за счет увеличения расстояния между электродами наталкивается на неизбежно возникающий при этом дефицит напряженности электрического поля, необходимой для эффективной коалесценции капель эмульгированной воды.

Серьезный недостаток существующих ЭДГ заключается в несовершенстве коллекторов ввода сырья, приводящем к возникновению в аппаратах нежелательных циркуляционных потоков и турбулентности, существенно ухудшающих процесс отстоя в них.

Также к несомненным недостаткам этих аппаратов следует отнести отсутствие возможности отдельного вывода промежуточного слоя по мере его накопления и отсутствие системы размыва и удаления донных шламовых отложений без остановки ЭДГ, что особенно актуально при деэмульсации нефтей с высоким содержанием мехпримесей.

Если перечисленные выше недостатки в большей мере относятся к числу конструктивных, технических, то следующий недостаток носит уже принципиальный, концептуальный характер. Он заключается в несогласованности конфигурации электрического поля и, следовательно, режима электрообработки эмульсии с динамикой протекающих одновременно и взаимосвязан-



**ДУСТАЛЕВ**  
Владимир  
Александрович  
Начальник отдела  
шеф-монтажа  
и пусконаладки  
ЗАО «Нефтех»



**ДЕЙНЕГА**  
Сергей Иванович  
Заместитель начальника  
производственного  
отдела по  
подготовке нефти  
ОАО «Сургутнефтегаз»



**ВАЛИЕВ**  
Эдуард Аминович  
Заместитель начальника  
ЦИТС по подготовке  
нефти НГДУ  
«Талаканнефть»  
ОАО «Сургутнефтегаз»

но процессов коалесценции капель воды в межэлектродном пространстве и их гравитационной седиментации. Суть этой несогласованности (фактически противоречия) заключается в том, что, с одной стороны, в процессе вертикального восходящего движения эмульсии в аппарате численная концентрация капель в ней монотонно снижается, расстояния между ними возрастают, а взвешенными в потоке нефти остаются капли все меньших размеров; с другой стороны, средняя напряженность электрического поля при этом остается неизменной. Между тем известно, что чем меньше размеры капель воды в эмульсии, тем более высокой должна быть напряженность поля для обеспечения их сближения и эффективной коалесценции [3].

Из-за этой несогласованности происходит унос из аппарата несокоалесцировавшей высокодисперсной фракции капель воды с потоком нефти и снижение глубины ее деэмульсации.

Чрезвычайно важным фактором, влияющим на эффективность, надежность и безопасность эксплуатации ЭДГ, являются тип и характеристики применяемых ВИП. В зависимости от размеров ЭДГ, физико-химических и электрофизических свойств сырья ВИП должны обладать мощностью и выходным напряжением, достаточными для стабильного поддержания в аппарате необходимой напряженности электрического поля, возможностью удобного переключения выходного напряжения, быть некритичными к резким изменениям тока нагрузки, герметичными и взрывозащищенными [4, 5]. Между тем, на ЭДГ ряда предприятий до сих пор установлены устаревшие ВИП ОМ 66/35 и ОМ 66/20, эксплуатация которых в принципе запрещена, поскольку они не относятся к категории взрывозащищенных. Недостатки же ВИП типа ИПМ-25/15 детально описаны в работе [5].

Очень важным с точки зрения качества эксплуатации ЭДГ является применение в их конструкции надежных узлов ввода высокого напряжения (УВВН), а также подвесных и проходных изоляторов. К сожалению, выпускаемые российскими производителями изоляторы изготавливаются из вторичного фторопласта и часто выходят из строя. При пробое подвесных изоляторов на корпус происходит короткое замыкание и отключение напряжения на электродах, что снижает эффективность работы ЭДГ. Диагностика, обследование и замена изоляторов связаны с разгерметизацией, подготовкой к проведению газоопасных работ и остановочным ремонтом. Также трудности возникают при замене часто выходящего из строя узла высоковольтного ввода трансформаторов ИПМ и высоковольтного кабеля.

К недостаткам ЭДГ старого типа также относится низкий уровень автоматизации аппаратов. Во многих

случаях просто отсутствуют локальные системы автоматизации, позволяющие контролировать и управлять взаимосвязанными технологическими и электрическими параметрами, такими как уровень водной подушки, наличие газовой шапки, величина тока и напряжения и др. В результате обслуживающий персонал не может оценить причину возникающих нарушений режима и, соответственно, своевременно принять надлежащие меры.

Симптоматично, что при таком обширном перечне недостатков отечественные производители ЭДГ не только не дают никаких технологических гарантий, но и не обозначают критериев их применимости в условиях конкретных объектов. Таким образом, выбору потребителей этой продукции предлагается единственный параметр – размер корпуса (объем) ЭДГ.

## МЕТОДЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭДГ

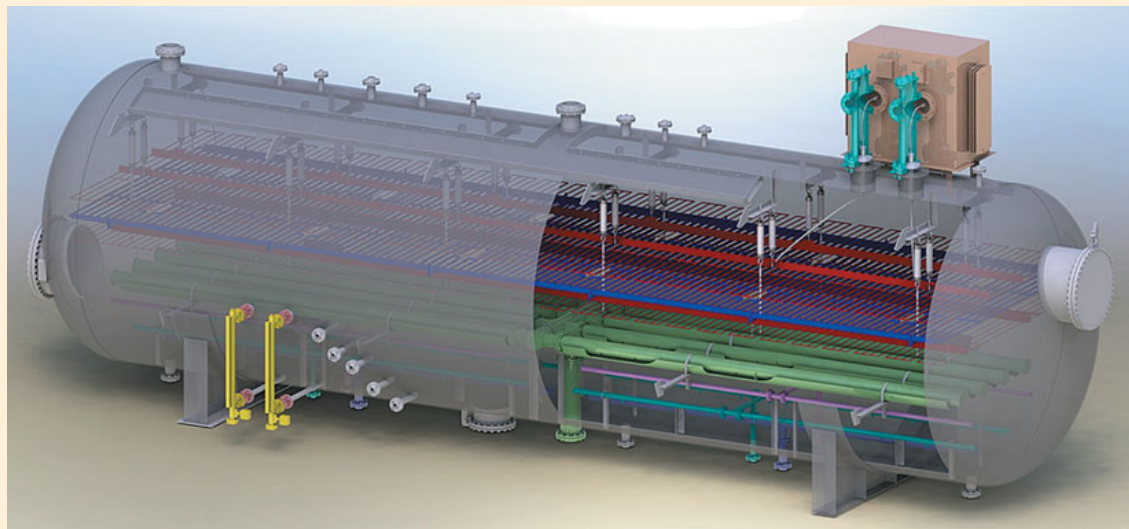
С целью устранения перечисленных недостатков и повышения эффективности, надежности и безопасности эксплуатации ЭДГ ЗАО «Нефтех» был разработан комплексный проект модернизации ЭДГ, включающий ряд новых технических решений.

Было предложено, во-первых, устанавливать в ЭДГ трехрядную электродную систему с разными расстояниями между электродами и, соответственно, с разной напряженностью между ними. За счет этого увеличивается объем охвата водонефтяной эмульсии электрическим полем и соответственно время ее нахождения в поле до двух раз. Указанные меры позволяют создать систему с увеличивающейся напряженностью электрического поля в направлении восходящего движения эмульсии с уменьшающимися размерами и концентрацией капель и, наоборот, с уменьшающейся напряженностью электрического поля в направлении движения осаждающихся и увеличивающихся в размерах и количестве капель. Такое согласование динамики процессов коалесценции и отстоя в электрическом поле трехрядной электродной системы ЭДГ позволяет в существенно повысить эффективность его работы и глубину обезвоживания и обессоливания нефти (рис. 1).

Во-вторых, мы предложили устанавливать в ЭДГ разветвленную коллекторную систему из пяти элементов, обеспечивающую ламинарное движение водонефтяной эмульсии в аппарате, равномерный вывод из аппарата очищенной нефти и подтоварной воды, отдельный вывод межфазного слоя в случае его образования, размыв и удаление нефтешламных донных осадков без остановки аппарата (рис.1).

Коллектор ввода нефти в аппарат выполняется в виде двух-четырех параллельных перфорированных труб. Рассчитанные по программе SolidWorks Flow-

Рис. 1. Трехрядная система электродных решеток, коллекторная система электродегидратора, ВИП с УВВН



Simulation диаметр труб и отверстий, расстояние между отверстиями перфорации и специальные отбойные пластины-дефлекторы позволяют подавить турбулентность и обеспечить ламинарное течение жидкости по вертикали.

За счет этих конструктивных решений в ЭДГ устраняется паразитная циркуляция потоков, предотвращается прохождение потока мимо электродных решеток, благодаря чему до 15% повышается эффективность процесса отделения воды и соответственно производительность аппарата.

В-третьих, следует комплектовать ЭДГ современными взрывозащищенными и надежными ВИП NWL OILPRC. Высоковольтные источники питания специально разработаны и запатентованы для применения в нефтяной промышленности и выпускаются в однофазном и 3/2-фазном вариантах (рис. 2). Широкий типоразмерный ряд источников питания по мощности (от 25 до 200 кВА), реактивность 100%, возможность регулировки выходного напряжения в диапазоне от 12,5 до 25 кВ и оснащенность всеми необходимыми сред-

ствами для контроля температуры, уровня и давления масла делают данные ВИП оптимальными для эксплуатации. Возможность подачи на каждый из потенциальных электродов напряжения с разных фаз (в случае использования 3/2-фазного ВИП) позволяет отдельно регулировать напряженность поля в каждой межэлектродной промежутке (рис. 2).

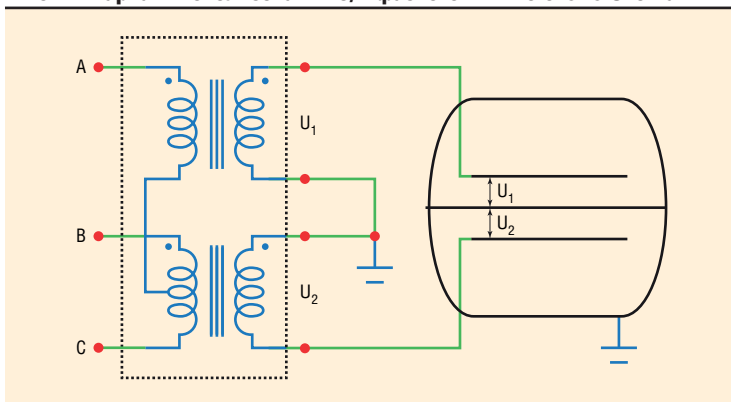
В-четвертых, для подачи высокого напряжения от ВИП к электродным решеткам следует использовать специально разработанный взрывозащищенный маслonaполненный УВВН, который может иметь как стационарное, так и гибкое исполнение. В составе УВВН предусмотрены средства контроля уровня масла и все необходимые сертификаты о безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах.

В-пятых, предлагается использовать в ЭДГ проходные и подвесные изоляторы, выполненные из высококачественного высокодисперсного фторопласта. Проходные изоляторы изготавливаются по эксклюзивной технологии формованием под высоким давлением. Изостатическим прессованием в пресс-форме под давлением до 800 кг/см<sup>2</sup> достигается однородная беспустотная структура проходных изоляторов, обеспечиваются превосходные механические и электроизоляционные свойства, высокая надежность и длительный срок эксплуатации при высоких температурах и давлениях.

В-шестых, оптимальным представляется контроль уровня раздела фаз «вода – нефть» двумя выносными уровнемерами. Данное техническое решение позволяет избежать разрывов в электродных решетках и исключить прохождение в аппарате необработанной эмульсии, а также обеспечить возможность контроля, ремонта и настройки уровнемеров без остановки аппаратов.

Наконец, мы предложили оснастить ЭДГ системами автоматизации в составе локальной панели управ-

Рис. 2. Вариант использования 3/2-фазного ВИП по схеме Скотта



ления (ЛПУ) и локальной системы автоматизации (ЛСА) на базе программируемого контроллера. ЛСА предназначена для оперативного контроля, управления и технологической защиты ЭДГ с функционалом обмена данными с внешними системами по стандартизованному протоколу, визуализации истории и записи событий.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭДГ

В ОАО «Сургутнефтегаз» в рамках программы модернизации технологического оборудования в соответствии с вышеизложенными техническими решениями ЗАО «Нефтех» была проведена модернизация 22 единиц ЭДГ ЭГ-200, входящих в состав УПН пяти ЦППН различных НГДУ.

В процессе модернизации были проведены следующие мероприятия:

- коллекторы входа нефти заменены на вновь изготовленные, обеспечивающие равномерное распределение восходящего потока водонефтяной эмульсии с ламинарным характером течения;
- коллектор вывода очищенной нефти заменен на Н-образный, что обеспечило равномерность скоростей течения нефти в верхней части аппарата;
- смонтирован коллектор сбора и удаления подтоварной воды, препятствующий возможности локального воронкообразования и, как следствие, разрушению равномерного поля восходящих нефтяных потоков;
- добавлен вновь спроектированный отдельный коллектор вывода межфазного слоя;
- добавлен коллектор размыва шламовых донных отложений с форсунками, допускающий работу без прерывания технологического процесса;
- произведена замена двухрядной горизонтальной электродной системы на трехрядную горизонтальную систему с использованием для крепления потенциальных электродов высококачественных подвесных изоляторов из высокодисперсного фторопласта;
- произведена замена системы электропитания электродной системы ЭДГ, включая замену имеющихся трансформаторов на взрывозащищенные высоковольтные источники питания NWL OILPRC 150kVA по схеме Скотта с локальным пультом управления;
- заменены проходные и подвесные изоляторы, а также установлены новые маслonaполненные взрывозащищенные устройства ввода высокого напряжения;
- произведен монтаж и наладка приборов КИПиА с заведением сигналов в специально спроектированный и изготовленный шкаф локальной систе-

Таблица

#### Результаты испытаний модернизированных ЭДГ на ЦППН НГДУ «Федоровскнефть»

Средний расход нефти, м <sup>3</sup> /ч	Среднее содержание воды в нефти на входе ЭГ-200, %	Напряжение на выходе ВИП, кВ	Температура нефти в аппарате, °С	Остаточное содержание воды в нефти на выходе, %
325	1,1-2,4	25	59	0,25
351	1,0-4,2	25	61	0,34
395	1,4-3,9	25	59	0,38

мы автоматизации, предназначенный для контроля параметров, управления и технологической защиты ЭДГ, а также для обмена данными с внешними системами по стандартизованному протоколу, визуализации, исторического трендинга и записи событий.

В ходе испытаний модернизированных ЭДГ расход нефти в различных НГДУ изменялся от 100 до 395 м<sup>3</sup>/ч, температура нефти – от 30 до 67°С, массовое содержание воды на входе в ЭГ-200 – до 10%, напряжение на потенциальных электродных решетках – от 15 до 25 кВ. В качестве примера приведены результаты испытаний модернизированных ЭДГ на ЦППН НГДУ «Федоровскнефть» (см. таблицу).

В целом по всем НГДУ промышленные испытания, проведенные после модернизации ЭДГ ЭГ-200-НТ, показали возможность стабильной подготовки нефти до 1-й группы качества по ГОСТ Р 51858-2002 при увеличении производительности до 400 м<sup>3</sup>/ч по сравнению с паспортными значениями 220 м<sup>3</sup>/час. ♦

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синайский Э.Г., Лапига Е.Я., Зайцев Ю.В. Сепарация многофазных многокомпонентных систем – М.: «Недра-Бизнесцентр», 2002. 621 с.
2. Панченков Г.М., Папко В.В. Диспергирование капель воды эмульсии при возникновении коротких замыканий электродов // Нефтяное хозяйство. 1969. №3. С. 46-47.
3. Панченков Г.М., Цабек Л.К. Поведение эмульсий во внешнем электрическом поле. М.: Химия, 1969. 190 с.
4. Швецов В.Н., Юнусов А.А., Фомин А.М. Промысловая подготовка нефти с использованием электрических полей – оптимизация выбора параметров источников питания (Ч. 2) // Нефтех. 2008. №2. С. 18-20.
5. Швецов В.Н., Юнусов А.А. Новые высоковольтные источники питания для электродегидраторов // Нефтех. 2008. №4. С. 32-34.