

## Промысловая подготовка нефти с использованием электрических полей – оптимизация выбора параметров источников питания Часть 2

## Oil treating using electric fields - optimization of power supplies' characteristic selection Part 2



Для эффективной работы электродегидраторов, наряду с совершенством гидродинамики процесса и конструкции электродной системы, необходимо применение оптимальных для конкретных нефтей и параметров технологического режима высоковольтных источников питания. В настоящее время в России выпускается единственный типоразмерный ряд высоковольтных источников питания с максимальным выходным напряжением 15кВ и максимальными значениями выходной мощности 25 кВА, 15 кВА и 9 кВА.

Однако, вызывает сомнение обоснованность подхода разработчиков данных источников питания к определению параметров выпускаемого ряда с точки зрения выбора максимального выходного напряжения, диапазона выходных мощностей и критерия определения области применения источников питания этого ряда, исходя лишь из объема используемого электродегидратора: 25кВА для ЭГ-200 и ЭГ-160; 15 кВА для ЭГ-100; 9 кВА для ЭГ-63 и аппаратов меньших объемов.

В то же время известно, что если эффективность гравитационного отделения воды в обычных отстойных аппаратах зависит от таких факторов, как вязкость нефти, разность плотностей воды и нефти при температуре технологического процесса, а также дисперсность водной фазы, то на эффективность работы электродегидраторов, как аппаратов, в которых одновременно осуществляется коалесценция капель дисперсной фазы и ее гравитационный отстой, весьма существенное влияние оказывает такое свойство нефтей, как электропроводность /1/. Электрические свойства нефтей даже в отсутствии эмульгированной воды далеки

от свойств хороших диэлектриков и их удельная объемная электропроводность, в зависимости от сорта нефти, превышает электропроводность диэлектриков на 4÷7 порядков и составляет при комнатных температурах от  $\sim 10^9 \div 10^8$  См/м для легких нефтей до  $\sim 10^{-7} \div 10^{-6}$  См/м для тяжелых карбоновых. Ситуация осложняется еще и тем, что, во-первых, нагрев нефти с целью снижения ее вязкости и повышения скорости гравитационного отстоя капель воды приводит, как правило, к экспоненциальному росту электропроводности нефти; во-вторых, электропроводность обрабатываемой эмульсии существенно возрастает в результате формирования в электрическом поле упорядоченных проводящих структур из капель эмульгированной воды. В результате возникает необходимость в использовании еще более мощных высоковольтных источников питания.

Попытки преодолеть это препятствие путем использования источников питания с несинусоидальным выходным напряжением с укороченными импульсами хотя и позволяют обойтись меньшими значениями мощности и в какой-то мере устранить перегрузки трансформаторов, приводят, на наш взгляд, к снижению эффективности процесса укрупнения капель диспергированной воды, поскольку при этом сокращается время на транспортную стадию коалесценции (стадию сближения капель воды до расстояний, не превышающих радиуса действия Ван-дер-Ваальсовых сил молекулярного притяжения), совершенно необходимую для осуществления собственно акта коалесценции. Это особенно важно, если учесть, что в межэлектродное пространство электродегидратора из зоны

For the electro dehydrators effective functioning it is essential to use the high-voltage power supplies operating practices optimal for the specific oils and parameters, along with perfection of the hydrodynamics of the process and electrode system design. There is only the one dimension-type family of the high-voltage power supplies with 15 kV maximum output voltage and with 25, 15 and 9 kVA output powers at the present time.

However, there is some doubts about the validity of developers approach to the characterization of produced items with relation to selection of the maximal voltage output, output power range and criteria of area of application definition of these series power supplies based only on the volume of being in use electro dehydrators: 25 kVA for EG-200 and EG-160; 15 kVA for EG-100 and EG-63; 9 kVA for EG-63 and for the smaller capacity equipment.

Among though it's known that such factors as: oil viscosity, density difference between water and oil at the temperature of the technological process and dispersion of the water phase, affect the gravitational settling efficiency in the usual settlers, but in the electro dehydrators there are two processes take place: coalescence of drops of the dispersed phase as well as the gravitational settling, so electroconductivity affects their operating efficiency /1/. The electrical properties of oils, even without emulsified water are far from the properties of the good dielectric material and their volumetric electroconductivity, subject to the oil grade, is exceeding dielectric conductivity by the order of 4÷7 and has the value under normal conditions from  $\sim 10^9 \div 10^8$  Sm/m for the high-gravity oil, to  $\sim 10^{-7} \div 10^{-6}$  Sm/m for the low-gravity oil. Also situation is complicated firstly, oil heating for the purpose of viscosity drop and rising of water drops gravitational settling velocity as a rule results in exponential growth of the oil electroconductivity, secondly, electroconductivity of processing emulsion essentially increases in the issue of forming of the ordered conductive structures in the electric field out of emulsion water drops. As a result of the work of these factors there occurs the necessity to use more powerful high-voltage power supplies.

Though the attempts to overcome obstacles by force of using non-sinusoidal output voltage power supplies with chopped impulses allow using less power and to dispose the transformer overload in someway, at our point they bring to degradation of the disperse water drops agglomeration process, because of the

coalescence transportation stage time reduction (stage of the water drops juxtaposition to the distance not exceeding the molecular interaction Van der Waals radius), which is necessary for coalescence act implement. It is especially important when it is considered, that the super-fine low-water content emulsion fraction with big water drops distance comes to electro dehydrator interelectrode space from section of electrical pretreatment to the low-intensity field between bottom contact and the surface of the separated water. Therefore, sufficiently high emulsion impact time and high-intensity field shall be used for their juxtaposition and coalescence.

Subject to stated, calculation of minimal necessary power of electro dehydrators high-voltage power supplies shall be done prima facie according not only to the term of transformer safe operation, but also to the term of guarantee electric field high-intensity maintenance in the emulsion volume to provide efficient desalting and dehydration processes. There are recommendations [2-3], in case of desalting process of the average electro-conductivity value oils, the EG-160 shall be equipped with two transformers not less than 80kVA each.

Thereby, there are a clear necessity in the dimension-type family of the high-voltage power supplies with the wider power range and in the design procedure and in adjustment of source for one or

предварительной электрообработки в поле низкой напряженности между нижним электродом и поверхностью отделившейся воды поступает высокодисперсная часть эмульсии с низким содержанием воды и, соответственно, относительно большими расстояниями между каплями. Именно поэтому для их сближения и коалесценции требуются достаточно высокая напряженность электрического поля и время его воздействия на эмульсию.

С учетом изложенного расчет минимально необходимой мощности высоковольтных источников питания электродегидраторов должен производиться исходя, прежде всего, из условия гарантированного поддержания в объеме обрабатываемой эмульсии достаточно высокой для эффективного обезвоживания и обессоливания напряженности электрического поля, а не только обеспечения безопасной работы трансформатора. Имеются рекомендации, чтобы при обессоливании нефтей даже средний по величине электропроводности электродегидратор ЭГ-160 был снабжен двумя трансформаторами мощностью не менее 80 кВА каждый.

Таким образом, очевидна необходимость в типоразмерном ряде высоковольтных источников питания с более широким диапазоном номинальных мощностей и в методике расчета и подбора источника для той

или иной марки электродегидратора, исходя не только из его полного объема, объемов подэлектродной, межэлектродной, надэлектродной зон, но и электропроводности конкретной деэмульгируемой нефти. Разделение водонефтяной эмульсии происходит в поле сил тяжести и основное ограничение производительности аппаратов – по скорости осаждения капель.

При нагреве вязкость нефти экспоненциально снижается, что облегчает седиментацию капель. На нефтепромыслах электродеэмульсация обычно производится при температурах не более 80° С, а на НПЗ при обессоливании нефтей температуру повышают до 150-160° С. Но при высокой дисперсности нагревом эмульсии в отстойнике можно добиться только определенного предела остаточного содержания воды в нефти. Процесс седиментации можно интенсифицировать воздействием на эмульсию электрического поля в электродегидраторах. В этом случае предельные возможности технологического аппарата-электродегидратора по деэмульсации будут зависеть от эффективности процесса электрокоалесценции.

Теоретические исследования основаны на модели, по которой дисперсионная среда, окружающая каплю воды, представляет собой идеальный диэлектрик с нулевой электропроводностью,

$G \cdot 10^8, \text{ См/м}$

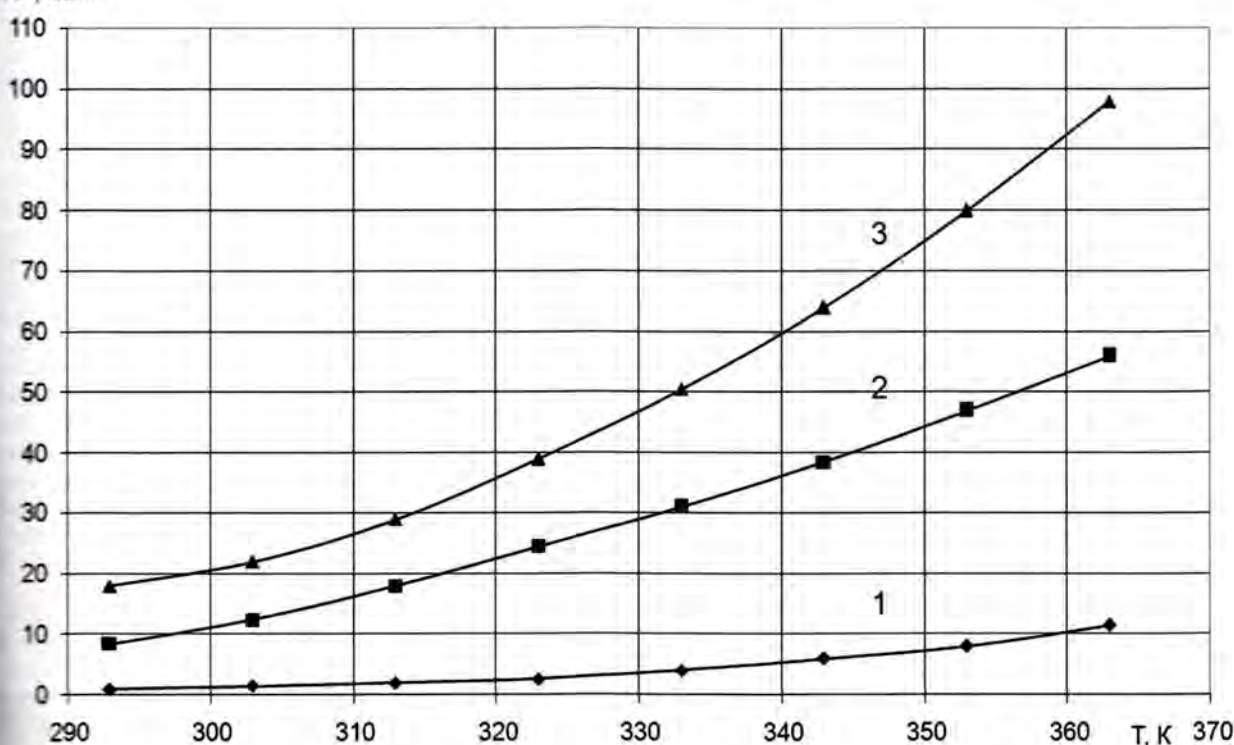


Таблица: Выбор номинальной мощности питания Р (кВА) источников питания электродегидраторов.

Table: Nominal capacity selection (kVA) for the 1, 2, 3 oils at the different power supplies voltages (kV).

Capacity (kVA) for the 1, 2, 3 Voltage for supplies, (kV)	Р мощность ист.питания (кВА) U питания, кВ							
	25	37,5	50	75	100	150	200	250
12 1	>	>	>	>	>	>	>	>
2	+	>	>	>	>	>	>	>
3	<	<	<	+	+	>	>	>
16,5 1	>	>	>	>	>	>	>	>
2	+	>	>	>	>	>	>	>
3	<	<	<	<	+	+	>	>
20 1	>	>	>	>	>	>	>	>
2	+	>	>	>	>	>	>	>
3	<	<	<	<	<	+	+	>
25 1	>	>	>	>	>	>	>	>
2	+	+	>	>	>	>	>	>
3	<	<	<	<	<	+	+	+

удельная электропроводность нефти, (См/м), соответственно: 1 –  $10^{-7}$ ; 2 –  $10^{-6}$ ; 3 –  $10^{-5}$ .

> ; < ; + - мощность источника питания, соответственно: избыточна, недостаточна, оптимальна для применения.

Specific oil electroconductivity, Sm/m, accordingly: 1- $10^{-7}$ , 2- $10^{-6}$ , 3- $10^{-5}$ . > Transformer capacity is too high for using; < Transformer capacity is too low for using; + Transformer capacity is correspond for using

а основные экспериментальные работы выполнены на чистых диэлектрических средах. Следовательно, их результаты не могут быть перенесены на реальные нефти и для определения предельных возможностей электродегидратора нужны исследования влияния электропроводности среды (нефти) на максимальный размер капель, достигаемый при обработке в электрическом поле.

Важный технико-экономический показатель процесса электродеэмульсации – расход электроэнергии, зависящий от напряженности поля в электродегидраторе и электропроводности обрабатываемой нефти. При обезвоживании легких нефтей, для разрушения эмульсий которых достаточно небольших полей, удельный расход электроэнергии не превышает 0,1кВт·ч/м<sup>3</sup>, а увеличение расхода электроэнергии при повышении температуры обусловлено экспоненциальным ростом электропроводности нефти с повышением температуры. Для электродеэмульсации тяжелых и вязких нефтей необходимо поле большей напряженности и более высокая температура. Поэтому расход электроэнергии в этом случае резко увеличивается и может превысить 1 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Необходимо учитывать,

что чрезмерный нагрев нефти вызывает перерасход электроэнергии. Конфигурация поля в аппарате определяется геометрией и размерами электродов. Но помимо электрического взаимодействия электродов друг с другом, существует и взаимодействие между электродами и корпусом электродегидратора, а также между нижним электродом и водной «подушкой» в нижней части аппарата. Электропроводность этой водной «подушки» на много порядков превышает электропроводность нефтяной эмульсии и тем более выше, чем у обработанной нефти. Поэтому с достаточной точностью можно считать этот слой выделившейся воды на дне заземленным электродом. Объем аппарата и удельный расход электроэнергии определяют необходимую мощность силового блока электродегидратора. Типоразмерный ряд выпускаемых зарубежными фирмами высоковольтных трансформаторов охватывает широкий диапазон выходных мощностей от 25 кВА до 250 кВА, что позволяет подобрать силовой блок оптимальной мощности для самых различных нефтей и условий эксплуатации электродегидраторов. Авторами статьи с учетом эффективной площади электродных систем и

another electro dehydrator grade not on the basis of its total capacity, capacities of: interelectrode, per electrode sections, but also in terms of specific demulsified oil electroconductivity. Oil-in-water emulsion separation occurs in the field of gravity force and the main unit capacity limitation – by drops fall velocity. While heating the oil viscosity decrease exponentially with the increase of temperature and that lightens drops sedimentation. At the oil fields de-emulsification usually performed at the temperatures not more than 80°C and at the petroleum refinery while the low-gravity oil desalting, temperature is raised to 150-160°C. But at the high dispersion by heating emulsion in the dehydration box we can obtain just definite limit of residual water content in the oil. Sedimentation process can be intensified by electrical action to the emulsion in the electro dehydrators. In this case limited performance capabilities of the process unit – electro dehydrator regarding to the demulsification will depend on the effectiveness of the electro coalescence process.

Theoretical researches are based on the model according which, the water drop dispersion medium surrounding is the ideal dielectric material with zero conductivity value and the main experimentations was made on the pure

объемов аппаратов проведены расчеты номинальной мощности источников питания для ряда электродегидраторов в зависимости от электропроводности обрабатываемых нефтей. В качестве примера в таблице приведены результаты расчетов для ЭГ-200 для различных значений номинальной мощности источника питания, электропроводности нефти и выходных напряжений источника, необходимых для устойчивой работы электродегидратора.

Из табл.1 видно, что основным фактором, определяющим требования по мощности, является электропроводность нефти. Ключевой важный параметр – выходное сопротивление источника питания, который, на наш взгляд, не учитывают при его выборе. Повышенная электропроводность нефти приводит к резкому увеличению потребления тока в электродегидраторе. Это вызывает перераспределение напряжения в выходной цепи за счет падения напряжения на нагрузке источника. В результате снижается выходное напряжение источника и, соответственно, напряженность поля между электродами, что приводит одновременно к резкому снижению КПД и эффективности обработки. Таким образом, выходное сопротивление источника питания обеспечивает запас по мощности при заданной номинальной мощности и позволяет на практике при обработке конкретной нефти реализовать оптимальные режимы, включая поддержание заданной напряженности поля между электродами. Это же определяет и резервные возможности всей системы (источник питания + электродегидратор) по обработке нефтяного сырья с меняющимися параметрами (например, смеси нефтей). Подчеркнем, что для эффективной обработки тяжелых и вязких нефтей, имеющих повышенную электропроводность, необходимо стабильно поддерживать оптимально высокую напряженность поля в электродегидраторе, для чего источник питания должен иметь низкое выходное сопротивление и достаточный резерв мощности.

В связи с этим нужно отметить преимущества зарубежных источников питания: наличие встроенного специального реактора, обеспечивающего оперативную защиту от перегрузок, низкий уровень потерь, что ведёт к повышению КПД процесса; широкий диапазон напряжений : 12; 16,5; 20; 23; 25кВ; широкий диапазон мощностей: 25; 37,5; 50; 75; 100; 150; 200; 250кВА.

Это позволяет потребителю обоснованно выбрать оптимальную комплектацию силового блока электродегидратора для деэмульсации конкретной нефти (см таблицу).

#### Литература:

1. Мансуров Р.И., Сидурин Ю.В., Выговской В.П. О работе электродегидраторов при обезвоживании тяжелых нефтей. Нефтепромышленное дело, 1982, №9, с.31-32.
2. Сидурин Ю.В., Мансуров Р.И., Выговской В.П. и др. О выборе конструктивных параметров и мощности трансформаторов электродегидраторов. Машины и нефтяное оборудование, 1980, №11 (обзор).
3. Выговской В.П. Влияние электропроводности нефти на эффективность работы электродегидраторов. Дисс. ... канд. техн. наук., М., МИНХ и ГП, 1983г.

#### Literature:

1. Mansurov R.I, Sidurin J.V, Vigovskoy V.P. "Dehydration of the low-gravity oils". Petroleum engineering, 1982, №9, p. 31-32.
2. Sidurin J.V, Mansurov R.I, Vigovskoy V.P, et al. "Electro-dehydrators transformers design power and parameters selection". Machinery and oil equipment, 1980, №11 (scope).
3. Vigovskoy V.P. "Oil electroconductivity impact on the electro-dehydrators work efficiency". Diss... candidate of technical sciences., M., MINH and GP, 1983.

dielectric mediums. Therefore, their results couldn't be transposed to the real oils and it is required to research the extreme electro dehydrator capabilities medium (oil) impact on the water drops maximum size obtained while processing in the electric field.

The important engineering-and-economical performance of the electric de-emulsification is the power consumption, dependent on the electro dehydrator field intensity and on electroconductivity of the oil. It is sufficient to use low field intensity for the emulsion separation during the high-gravity oil dehydration, the discharge intensity is within 0,1 kW/h/m<sup>3</sup> and the power consumption increase with the temperature rise is conditioned by oil electroconductivity exponential growth with the temperature rise (fig. 1). It is necessary to have the higher field intensity and higher temperature for the low-gravity and viscous oils than in case of high-gravity oils. Therefore power consumption in this case whirls and can exceed 1 kW/h/m<sup>3</sup>. It is necessary to allow that excess heating of the oil causes power consumption overrun. The equipment power pattern is rated by geometry and sizes of the electrodes. In addition to the electrodes electric interaction, there is an interaction between electrodes and electro dehydrator body and also between bottom contact and water cushion in the equipment underbody. The electroconductivity of this water cushion forces the oil emulsion in many orders, a fortiori more than pretreated oil electroconductivity. Therefore with sufficient accuracy it is safe to consider that this water separated bed at the bottom grounded electrode. The equipment capacity and specific power consumption rates necessary power-to-size ratio of the electro dehydrator power block. Standard size high-voltage transformers produced by foreign companies cover wide range of the output power from 25 kVA to 250 kVA, that allows to choose good optimal power train for various oils and electro-dehydrates operating conditions. Authors of the article estimated the nominal power of the feed source for some of the electro dehydrators subject to electroconductivity of the in-process oil taking into account effective area of the electrode systems and apparatus volume. In the table 1 is given estimation data for EG-200 for different values of the feed sources' nominal power, oil electroconductivity and the output voltages of the source which are necessary for electro dehydrator's stable operation.