

УДК 622.69.03(045)

В.В. Гаража, С.А. Халиль

ОЧИСТКА АВИАЦИОННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И МОТОРНЫХ МАСЕЛ ОТ ЭМУЛЬСИОННОЙ ВОДЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В КВАЗИПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Приведены результаты экспериментальных исследований оценки эффективности очистки авиационных гидравлических и моторных масел лабораторным и экспериментальным полноразмерным поляризационным электродегидратором от эмульсионной воды и механических загрязнений в лабораторных и производственных условиях.

Применяемые в гражданской авиации методы обезвоживания и очистки от механических примесей масел (механические фильтры – сепараторы, – массообменный метод, выпаривание) не обеспечивают выполнение требований государственных стандартов к отсутствию в гидравлических и моторных авиационных маслах эмульсионной воды и нормируемого уровня содержания механических примесей [1; 2]. В связи с этим было проведено исследование обезвоживания авиационного гидравлического масла АМГ-10 в стадии поставки в электрическом поле с использованием поляризационного наполнителя. Конструктивно система электродов была выполнена в виде комбинации плоских изолированных электродов с расположением между ними неизолированных сетчатых гофрированных электродов. Пространство между электродами заполнялось волокнистым поляризационным наполнителем с ориентацией волокон по нормали к потоку очищаемого масла. В качестве волокнистого поляризационного наполнителя, сохраняющего свои свойства в обводненных светлых нефтепродуктах, использовали нити чистошерстяной пряжи ГОСТ 17511-83. Подачу высокого напряжения на электроды лабораторного образца электродегидратора осуществляли (в диапазоне от 0 до 8 кВ) от стандартного высоковольтного выпрямителя ВС-23.

Высокодисперсные малоконцентрированные водно-масляные эмульсии (содержание воды в масле составляло от 0,05 до 0,15%) получали на ультразвуковой установке УЭДН в соответствии с рекомендациями работы [3]. Водно-масляные эмульсии готовились на базе масел АМГ-10, МК8 или трансформаторного масла.

Эффективность отделения эмульсионной воды оценивались с помощью коэффициента водоотделения:

$$\varphi = \frac{n_{\text{ВХ}} - n_{\text{ВЫХ}}}{n_{\text{ВХ}}},$$

где $n_{\text{ВХ}}$, $n_{\text{ВЫХ}}$ – число капелек воды на входе в модульный элемент и на выходе из него соответственно.

Как показали исследования, на эффективность разрушения водно-масляных эмульсий оказывают влияние напряжение U , подаваемое на электроды, фракционный состав дисперсной водной фазы d_k (диаметр капелек), вид волокнистого поляризационного наполнителя (щетина или шерсть), гидравлический режим течения жидкости через электродегидратор, характеризуемый перепадом давления на модульном элементе электродегидратора, плотность тока, характеризуемая отношением потребляемого тока i к площади электродов – $S_{\text{эл}}$.

Результаты проведенных экспериментальных исследований влияния на эффективность разрушения водно-масляных эмульсий напряжения U , подаваемого на электроды для наполнителя из чистошерстяных нитей, показаны на рис. 1.

Анализ результатов исследований, показывает, что с увеличением напряжения на электродах коэффициент водоотделения возрастает, достигая максимального значения в диапазоне U от 5 до 7,7 кВ, смещение напряжения соответствует ϕ_{\max} для каждого интервала фракционного состава. Если для капелек диаметром $d > 100$ мкм $\phi_{\max} = 1$ при $U = 7,5$ кВ, то для капелек размером 50 – 100 мкм $\phi_{\max} = 0,97$. При $U = 7$ кВ для капелек размером 25 – 50 мкм $\phi_{\max} = 1$, а для фракций 10 – 25 мкм и 5 – 10 мкм коэффициент ϕ_{\max} соответственно равен 0,96 и 0,94 при $U = 7,5$ кВ.

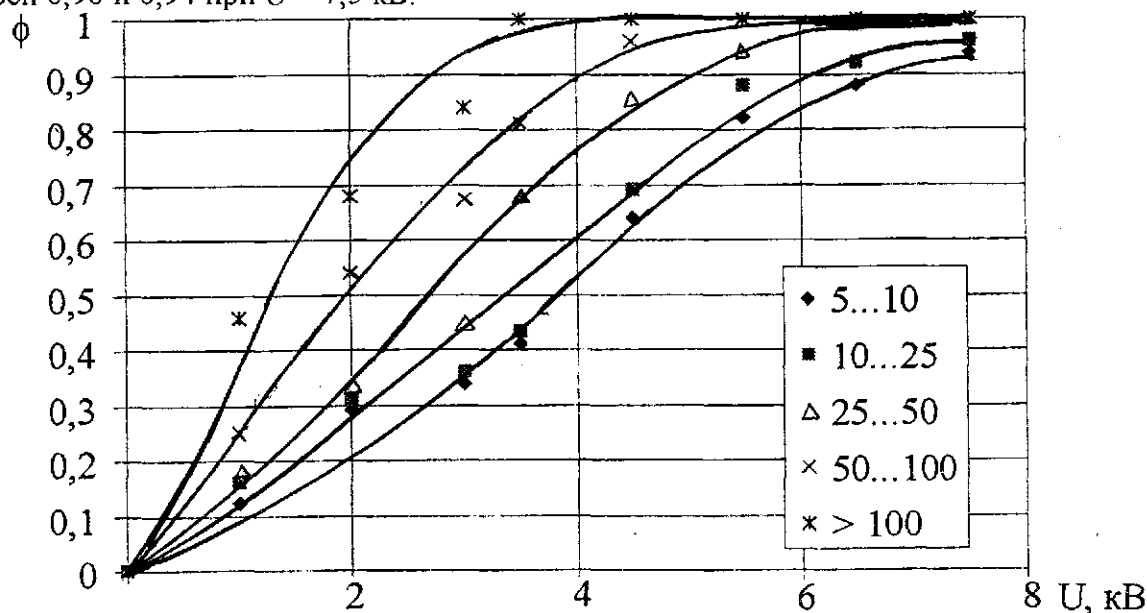


Рис. 1. Зависимость коэффициента водоотделения от напряжения на электродах электродегидратора для различных фракций ($c = 0,05$, $t = 20$ °С, наполнитель – шерсть)

Исследования лабораторного образца электродегидратора по обезвоживанию трансформаторного масла, которое допускается к применению в газотурбинных двигателях в качестве моторного, как заменитель МК8 и МС8, позволили получить аналогичные результаты и для водно-масляных эмульсий с содержанием эмульсионной воды $c = 0,15$ %.

На эффективность обезвоживания масел оказывает влияние гидродинамический режим потока очищаемого продукта в межэлектродном пространстве лабораторного образца электродегидратора. Оценка эффективности процесса разрушения водно-масляных эмульсий, в этом случае выполнялась по коэффициенту водоотделения, определяемому по общей сумме частиц. Режим течения в межэлектродном пространстве задавался перепадом давления Δp на модульном элементе электродегидратора в диапазоне от 0,01 до 0,045 Мпа.

Анализ результатов исследований (рис. 2) показывает, что с увеличением подачи эмульсии Δp эффективность водоотделения ϕ_{Σ} падает в диапазоне напряжений от 0 до 7 кВ. При увеличении Δp с 0,01 до 0,045 Мпа и оптимальном значении $U \approx 7$ кВ коэффициент водоотделения уменьшается в два раза относительно $\Delta p = 0,01$ Мпа ($\phi_{\Sigma} = 1$) и $\Delta p = 0,045$, когда $\phi_{\Sigma} = 0,48$. Такое изменение эффективности характерно для всего исследованного диапазона напряжений.

Анализ графиков (рис. 3) показывает, что при фиксированных значениях напряжений U , определяющее влияние на коэффициент ϕ_{Σ} оказывает подача масла \bar{Q} .

Диапазон приемлемых для практической реализации значений \bar{Q} лежит в интервале от 0,7 до 3,0 1/мин, т.к. при этом эффективность очистки ϕ_{Σ} может составить от $\phi_{\Sigma_{max}}=1,0$ для $U=7,5$ кВ до $\phi_{\Sigma}=0,75$ для $U=4,0$ кВ. Область значений $\bar{Q} > 4,0$ 1/мин не рекомендуется для практической реализации в электродегидраторе с поляризационным наполнителем.

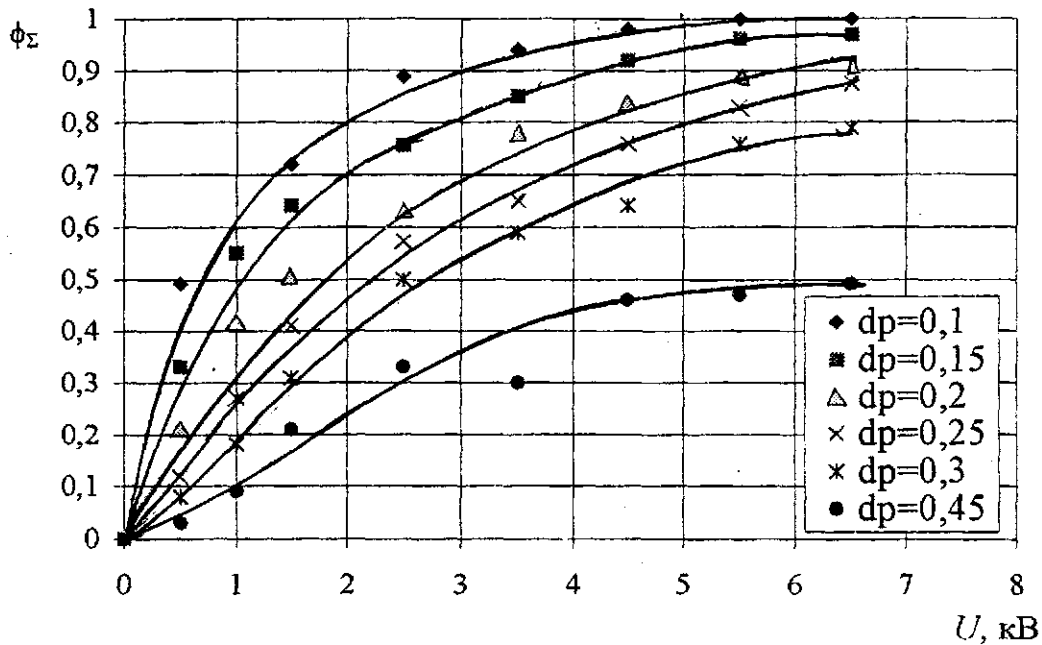


Рис. 2. Зависимость коэффициента водоотделения ϕ_{Σ} от напряжения на электродах U для ряда фиксированных значений перепада давления электродегидратора ($c = 0,05$, $t = 20$ °С, наполнитель - шерсть)

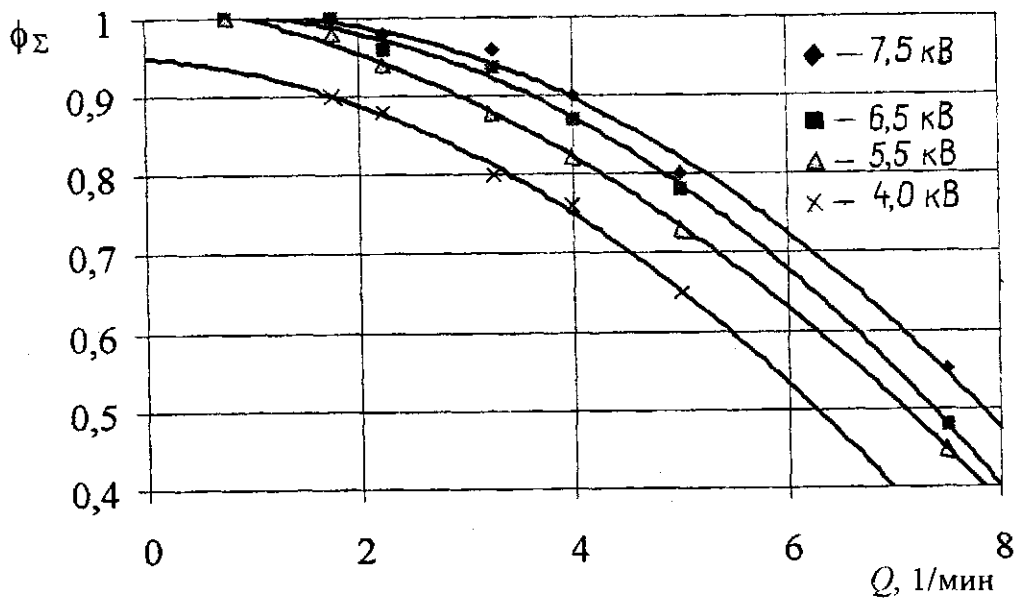


Рис. 3. Влияние подачи масла Q на эффективность его обезвоживания $\phi_{\Sigma} = f(\bar{Q})$ трансформаторное масло, $c = 0,01$ %, $t = 20$ °С)

На эффективность обезвоживания масел влияет время обработки водно-масляной эмульсии в электрическом поле $t_Э$. Как следует из рис. 4, с увеличением времени $t_Э$ с 5 до 15 с, т.е. в три раза, коэффициент ϕ_Σ возрастает соответственно с 0,4 до 1,0, т.е. в 2,5 раза при $U = 7,5$ кВ.

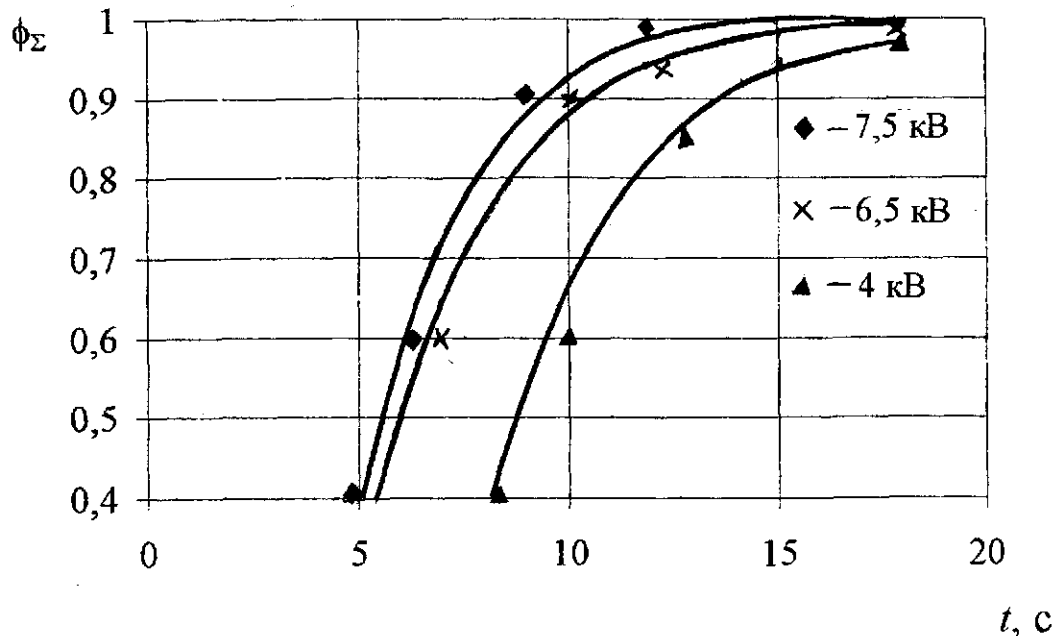


Рис. 4. Зависимость коэффициента водоотделения от времени обработки эмульсии в электрогидраторе ($c = 0,01$ %, $t = 20$ °С)

Для оценки энергетических затрат на обезвоживание масла АМГ-10 практический интерес представляет изменение плотности тока $i/S_{Эл}$ в функции от напряжения на электродах электродегидрататора. Результаты исследований показаны на рис. 5. С увеличением плотности тока эффективность водоотделения возрастает и при $i/S_{Эл} = 2$ мкА/см² достигает значения $\phi_\Sigma \approx 1$ при обводненности масла, равной 0,05 % по объему, и относительной подаче, равной 3,3 л/с. Плотность тока возрастает с увеличением напряжения на электродах и при $U = 7,5$ кВ $i/S_{Эл}$ достигает значения 2,5 мкА/см². Это свидетельствует о том, что стремление достичь высоких значений коэффициента водоотделения неизбежно приведет к увеличению энергозатрат, расходуемых на обезвоживание масла. С увеличением содержания эмульсионной воды проводимость масла будет увеличиваться, а значит возрастут энергозатраты.

Экспериментальные исследования лабораторного образца электрогидрататора и рекомендации в работах [3; 4; 5] позволили спроектировать полноразмерный экспериментальный образец электрогидрататора, который был испытан в производственных условиях.

Опытная эксплуатация поляризационного электрогидрататора проведена на заводе «Кремний полимер» и Запорожском трансформаторном заводе.

Рабочая площадь поперечного сечения экспериментального электрогидрататора S_0 составляла $59,5 \cdot 10^{-3}$ м², рабочий объем $W_0 = 16,1 \cdot 10^{-3}$ м³, число модульных секций электродного пакета $n = 14$, расстояние между плоскими электродами равно $12 \cdot 10^{-3}$ м.

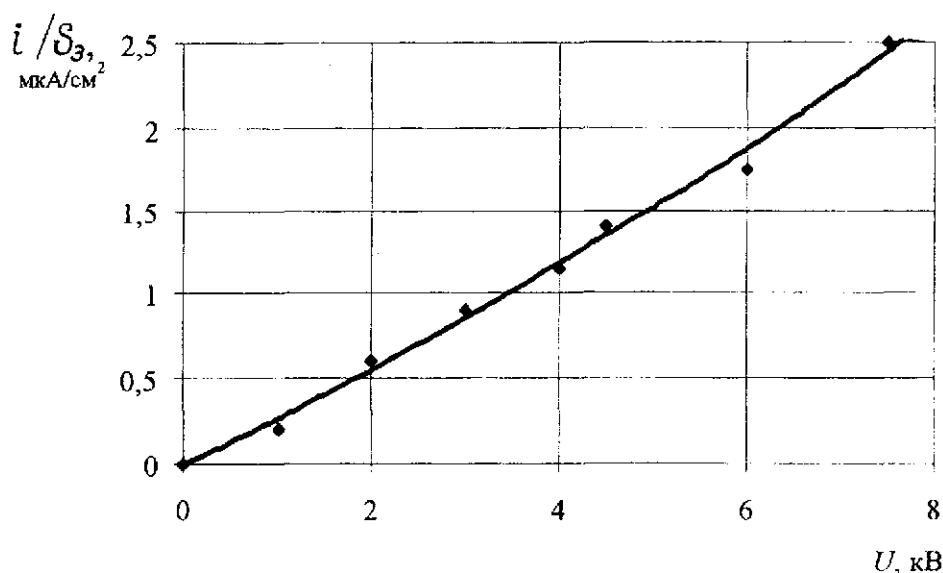


Рис. 5. Зависимость плотности тока от напряжения на электродах электродегидратора ($c = 0,05$, $t = 20$ °С, $\Delta p = 0,2$, наполнитель - шерсть)

Очистке от эмульсионной воды и механических загрязнений подвергалась силиконовая жидкость 131-194 – диметилдихлорсилан (по физическим характеристикам аналогична АМГ-10) и трансформаторное масло – как аналог МК8.

На заводе «Кремний полимер» электродегидратор подключался в технологическую цепочку производства силиконовой жидкости вместо прессфильтра и чулочного фильтра (рис. 6). Общая наработка электродегидратора при его непрерывной работе составила 20 ч. При этом было очищено воды и механических примесей 14 м^3 диметилдихлорсилана при подаче на электродегидратор $Q = 0,7 \text{ м}^3/\text{ч}$. Эффективность электродегидратора по водоотделению оценивалась по общему содержанию воды в гидролизате с помощью хроматографа ЛКМ-80, а эффективность очистки от механических примесей – по коэффициенту светопропускания $k_{сп}$ с помощью калориметра КФК-2. Пробы для контроля качества диметилдихлорсилана отбирались на входе и выходе из электродегидратора и передавались в центральную заводскую лабораторию для оценки качества очистки с интервалами в 30 мин.

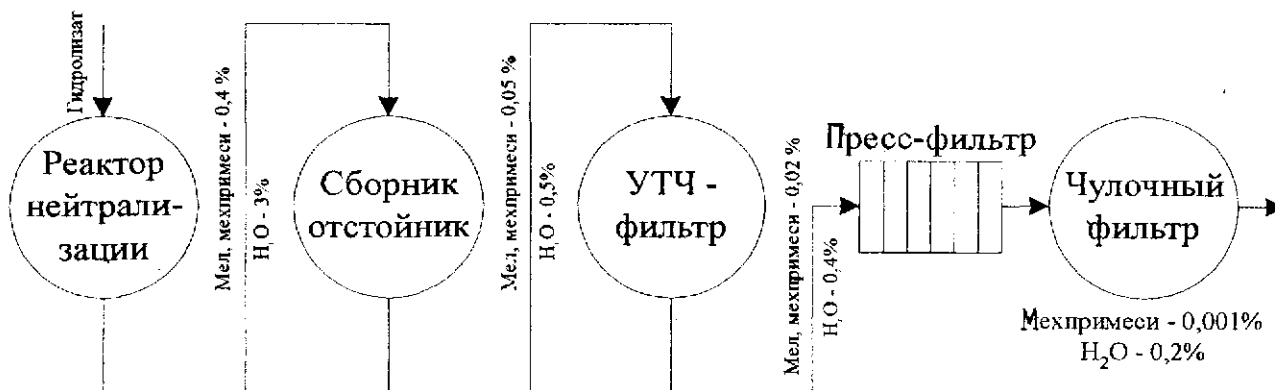


Рис. 6. Технологическая цепочка производственной очистки диметилдихлорсилана

Результаты оценки эффективности поляризационного электродегидратора в эксплуатационных условиях показаны на рис. 7, 8. Как следует из рис. 7, обводненность продукта на выходе из электродегидратора $c_{\text{вых}}$ лежит в диапазоне от 0,058 до 0,029 % и практически соответствует уровню растворимости H_2O в диметилдихлорсилане при температурах, указанных на диаграмме изменения C – общего содержания H_2O в очищенном диметилдихлорсилане.

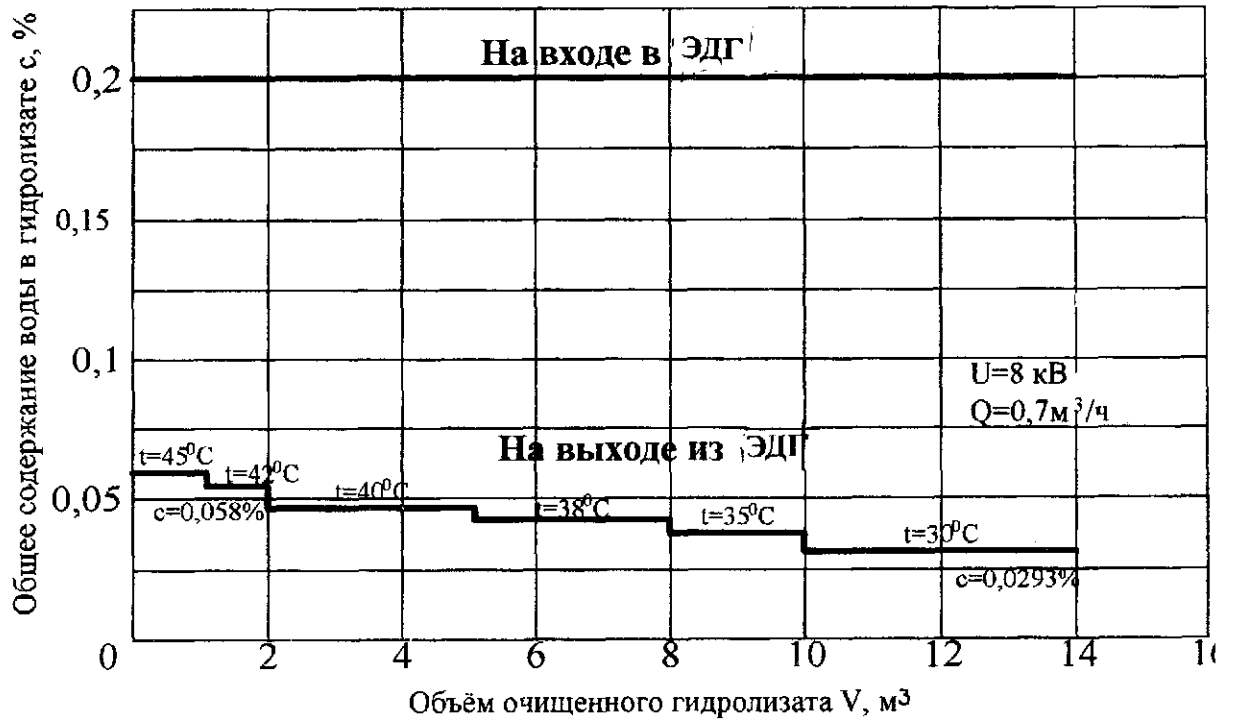


Рис. 7. Диаграмма оценки эффективности обезвоживания гидролизата в зависимости от его начальной обводненности :
ЭДГ – электродегидратор

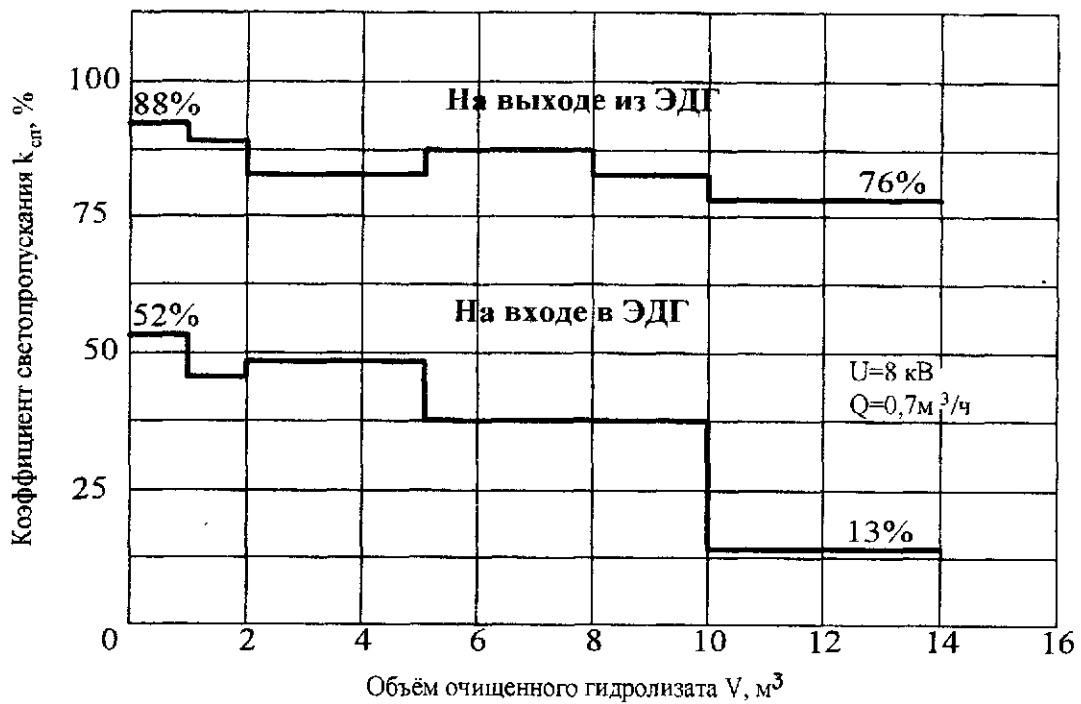


Рис. 8. Диаграмма оценки эффективности обезвоживания гидролизата по коэффициенту светопропускания:
ЭДГ – электродегидратор

Об эффективности очистки диметилдихлорсилана от механических примесей свидетельствует диаграмма (рис. 8), которая показывает, что коэффициент светопропускания $k_{сп}$ очищенного продукта зависит от содержания механических примесей на входе в электродегидраторе. За время испытаний электродегидратора на заводе «Кремний полимер» отказов в его работе не было, энергозатраты на очистку диметилдихлорсилана составили не более 120 Вт/м^3 очищаемой жидкости. Экономическая эффективность в случае внедрения электродегидратора на заводе «Кремний полимер» по оценкам специалистов составит 51 487,16 у.е. в год.

Натурные испытания полноразмерного экспериментального электродегидратора по очистке трансформаторного масла от эмульсионной воды и механических загрязнений проводились на Запорожской транспортном заводе по программе, разработанной центральной заводской лабораторией в соответствии с технологическими требованиями цеха подготовки масла. Электродегидратор устанавливался на участке прессфильтров цеха подготовки масла. Общая наработка электродегидратора при его непрерывной безотказной работе составила 24 ч, было очищено от воды и механических примесей 29 м^3 трансформаторного масла. Эффективность работы электродегидратора оценивалась по общему содержанию воды в масле на входе и выходе из электродегидратора. Как следует из рис. 9, общее содержание воды в масле на входе в электродегидраторе составляло 0,02 % (250 г/т), а на выходе в очищенном масле соответственно равнялось 0,0055 % (250 г/т), что соответствует уровню растворимости H_2O в трансформаторном масле при температуре 25–27 °С. Таким образом, после очистки в электродегидраторе общее содержание воды в масле уменьшилось в четыре раза и по содержанию воды масло стало соответствовать ТН 5755565 25207. 00001.

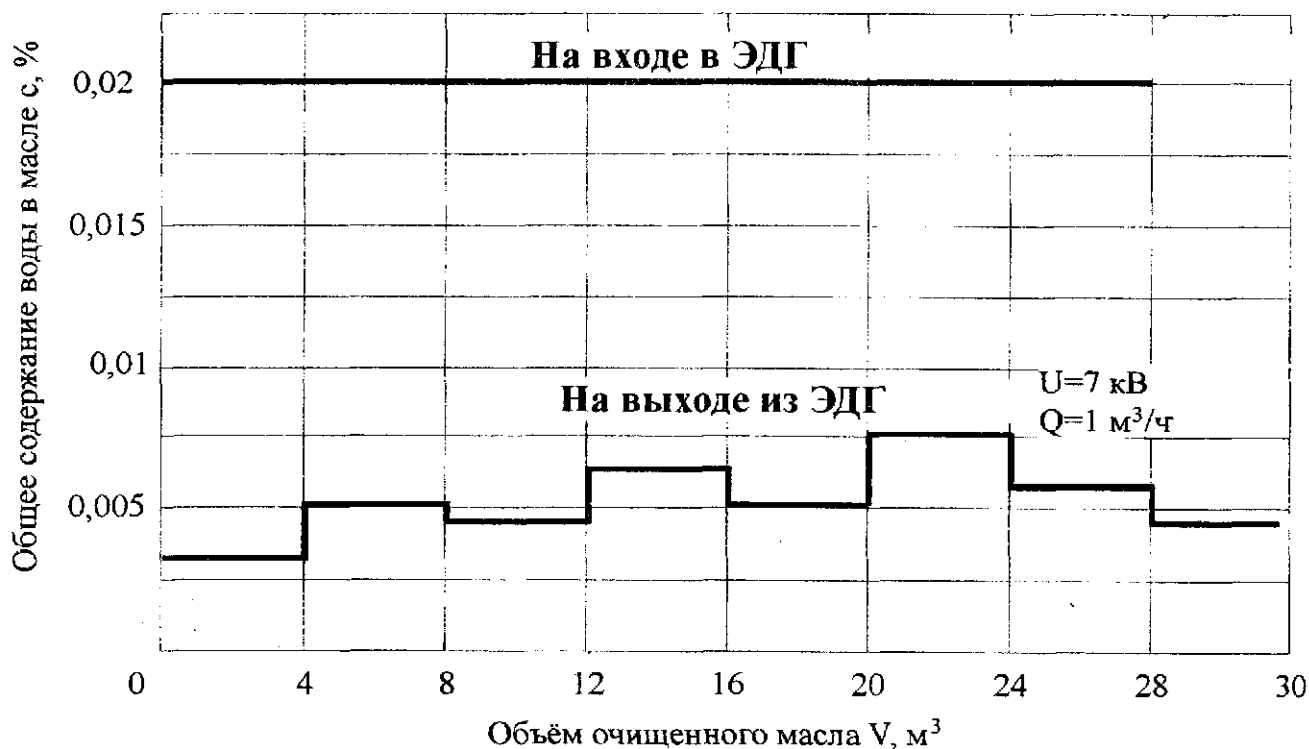


Рис. 9. Диаграмма оценки эффективности обезвоживания трансформаторного масла: ЭДГ – электродегидратор

Оценка эффективности очистки масла от механических примесей проводилась по относительной массе загрязнений и изменению содержания механических примесей в исходном и очищенном электродегидраторе трансформаторном масле фотометрическим методом на анализаторе механических примесей типа АОЗ 101.

Результаты оценки показали, что в исходном масле относительная масса загрязнений составляет 0,063% (630 г/т), а в очищенном масле соответственно 0,0008% (8 г/т). В 100 см³ исходного масла общая сумма частиц составляет 387 540, а в очищенном электродегидраторном масле 16 000. При этом очищенное масло соответствует 2-му классу чистоты по ГОСТ 17216-71. Энергозатраты на очистку трансформаторного масла составили 100 Вт/м³ масла.

Таким образом, проведенные исследования лабораторного образца электродегидратора показали высокую эффективность его использования для тонкой очистки нефтепродуктов. Полноразмерный экспериментальный образец поляризационного электродегидратора, на заводе «Кремний полимер» может быть эффективно использован в технологическом процессе очистки диметилдихлорсилана для обеспечения очищенному продукту коэффициент светопропускания $k_{сп} = 0,88$ при содержании воды в диметилдихлорсилане на уровне растворимости и подаче $Q = 0,7$ м³/ч. Натурные испытания экспериментального образца электродегидратора на Запорожском трансформаторном заводе показали его высокую эффективность по очистке трансформаторного масла от воды и механических примесей с получением из неклассного трансформаторного масла после очистки электродегидратора продукт, соответствующий 2-му классу чистоты по ГОСТ 17216-71.

Список литературы

1. *Баканов Е.А., Захарчук П.П.* Исследование методов обезвоживания авиамасел // Эксплуатационные свойства авиационных топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей. – К: КИИГА, 1977. – С.21-24.
2. *Гаража В.В.* Исследование вопросов очистки авиационного топлива от эмульсионной воды в квазипостоянном электрическом поле: Автореф. дис. канд.техн.наук. – К., 1975.– С. 20.
3. *Гаража В.В., Халиль С.А.* Выбор поляризационного наполнителя для разрушения водно-масляных эмульсий в квазипостоянном электрическом поле электродегидратора // Вестник КМУГА. – К., 1998. – 1.– С.82-87.
4. *Кривченко В.Г.* Разработка электроочистителя с наполнителем из гранул конденсаторной керамики для очистки авиационных топлив и масел: Автореф. дис. канд. техн. наук. – К., 1987. – С 32.
5. *Панченков Г.М., Цабек Л.К.* Поведение эмульсий во внешнем электрическом поле. – М.: Химия, 1969. – С. 190.

Стаття надійшла до редакції 27 вересня 1999 року.