

Əmtəə və sintetik transformator yağlarının müqayisəli qiymətləndirilməsi

R.Z. Həsənova, t.e.d.,
S.B. Loğmanova, t.ü.f.d.,
M.C. İbrahimova, k.e.d.,
N.F. Qafarova
Neft-Kimya Prosesləri İnstitutu

e-mail: lab.21@mail.ru

Açar sözlər: transformator yağları, ion mayesi, selektiv həlledicilər, sintetik mayelər.

DOI.10.37474/0365-8554/2023-10-36-40

Сравнительная оценка качеств товарных и синтетических трансформаторных масел

R.Z. Gasanova, d.t.n., S.B. Logmanova, d.f.t.n., M.Dz. İbragimova, d.x.n., N.F. Kafarova
Институт нефтехимических процессов

Ключевые слова: трансформаторные масла, ионная жидкость, селективные растворители, синтетические жидкости.

Нефтяные трансформаторные масла, выпускаемые ранее в СССР, удовлетворяли требованиям ГОСТ 982-80. Сырьем для получения трансформаторного масла были Балаханская масляная и Доссорская малопарафинистая нефть Эмбенского месторождения.

Состав трансформаторных масел учитывается при выборе сырья и их регенерации.

В ИНХТ выполнены исследования по селективной очистке дистиллята трансформаторного масла из Балаханской масляной нефти применением нового высокоэффективного растворителя – ионной жидкости – четвертичной аммониевой соли муравьиной кислоты и ряда аминов – морфолина, анилина или ди-, триэтиламина. Разработаны оптимальные условия процесса селективной очистки дистиллята. Ионная жидкость как растворитель обладает высокой селективностью и избирательностью. Ионная жидкость экологически безвредна.

Keçmiş SSRİ dövründə istehsal edilmiş neft transformator yağları ГОСТ 982-80 tələblərinə cavab verirdi. Transformator yağlarının alınması üçün yeganə xammal kimi Balaxanı yağı və Emben yatağının Dossor azparafinli neftlərdən istifadə edilirdi [1].

Neftin mənsəyi və kimyəvi xassələrindən asılı olaraq ondan alınmış transformator yağlarının tərkibi aşağıda verilib [2, 3]:

Comparative assessment of the qualities of commercial and synthetic transformer oils

R.Z. Hasanova Dr. in Tech. Sc., S.B. Logmanova, PhD in Tech. Sc., M.J. İbragimova, Dr. in Ch. Sc., N.F. Kafarova
Institute of Petrochemical Processes

Keywords: petroleum transformer oils, ionic liquid, selective solvents, synthetic fluids.

Petroleum transformer oils previously produced in the USSR met the requirements of ГОСТ 982-80. Balakhany oil and Dossor low-paraffin oil of the Emben field were the raw materials for obtaining transformer oil. The composition of transformer oils is taken into account when choosing raw materials and their regeneration. T-1500y – transformer oil of improved quality, is used in electrical equipment up to 500 kV and up to 750 kV. FK oil is a hydrocracking transformer oil, used in voltages up to 1150 kV, contains ionic. Tcn is oil from West Siberian oils, used up to 220 kV. This oil is of relatively low quality, characterized by a high sulfur content, low oxidation stability, and high dielectric loss tg.

In the Institute of Petrochemical Processes, research has been carried out on the selective purification of transformer oil distillate from Balakhany oil using a new highly effective solvent – ionic liquid (IL) – a quaternary ammonium salt of formic acid and a number of amines – morpholine, aniline or di-, triethylamines. The optimal conditions for the selective purification of the distillate have been developed. Due to the shortage of high-quality transformer oils, as well as the high cost, in recent years, oils have been imported from Sweden and Austria.

An ionic liquid as a solvent is highly selective and selective. The analysis of the extract from selective purification showed that it does not contain naphthene-paraffins, the content of aromatic hydrocarbons in the extract is 65 %, and when purified with furfural it is 40.8 %. The ionic liquid is environmentally friendly.

Parafinlər, %.....10–15
Naften və ya tsikloparafinlər, %.....60–70
Aromatik karbohidrogenlər, %.....15–20
Asfalt-qatran birləşmələri, %.....1–2
Kükürd birləşmələri, %.....1 az olmalı
Azot birləşmələri, %.....0.8 az olmalı
Naften turşuları, %.....0.02 az olmalı
Oksidləşməyə qarşı aşqar, %.....0.2–0.5

Transformator yağlarının tərkibi xammalın seçilməsi və regenerasiyasında nəzərə alınır. Bu yağ-

lara qoyulan tələblər beynəlxalq MƏK 602962003 standartının modifikasiyası olan ГОСТ P 54331-2011-də verilib [4].

T-1500y transformator yağı keyfiyyəti yaxşılaşdırılmış selektiv təmizləmədən alınmış yağıdır. Bu yağlar elektrik qurğularında 500–750 kV-a qədər gərginlikdə istifadə olunur [3–5]. T-1500y yağı TY 38.401-58-107-64 üzrə istehsal edilir, tərkibində kükürdün miqdarı azdır (0.3 %), T-1500 yağından daha stabildir və onun Bakı yağları ilə bir sırada ГОСТ 982-80 üzrə tətbiq edilməsinə icazə verilib.

Hidrokrekinq (HK) prosesindən alınan transformator yağı 1150 kV-a qədər gərginlikdə istifadə olunur, tərkibində ionol var.

T_{en} transformator yağı Qərbi Sibir neftindən selektiv təmizləmə üsulu ilə alınır, 220 kV-a qədər gərginlikdə istifadə olunur. T_{en} yağı nisbətən aşağı keyfiyyətlidir, bu yağda kükürdün miqdarı çoxdur (0.6 %-ə qədər), oksidləşməyə qarşı stabilliyi aşağıdır, dielektrik itkilər bucağının tangensi isə yüksəkdir.

NKPI-də Balaxanı yağı neftindən alınmış transformator yağının distillatının ekoloji zərərsiz həlledici, “yaşıl kimyanın dostu” ion mayeləri (İM) (qarışıq turşusu və bir sıra aminlərin – morfolin, anilin və ya di-, trietilaminin dördlü ammonium duzları) ilə selektiv təmizləmə prosesinin tədqiqi aparılıb [6–8]. Transformator yağ distillatının morfolin formiat tərkibli İM ilə selektiv təmizləmə prosesinin daha effektiv olduğu müəyyən edilib, optimal şəraitləri işlənilib hazırlanmışdır: distillat : İM nisbəti 1:2, prosesin temperaturu 60 °C, komponentlərin kontakt müddəti – 1 saat,

rafinatın çıxımı 85–87 % təşkil edir. Son vaxtlar yağlar həmçinin İsveç (ASTM 03487 üzrə Nytro 10XN) və Avstriyadan (Technol şirkətinin Technol-2000 yağı) idxal edilir [2–4]. Bunu nəzərə alaraq İM ilə təmizləmədən alınmış transformator yağını bir daha dəyərləndirmək məqsədilə göstəriciləri idxal olunan transformator yağları ilə müqayisə edilib. Nytro 10XN yağı Venesuela yağının fenolla təmizlənməsindən alınır, tərkibində kükürd və parafinin miqdarı azdır, xassələrinə görə HK və T-1500y yağlarından üstündür, onu ölkədə istehsal edilən yağlarla istənilən nisbətə qarışdırmaq olar.

Müxtəlif üsullarla alınmış transformator yağlarının əsas göstəricilərinin müqayisəsi cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəldən görünür ki, İM ilə selektiv təmizləmədən alınmış nümunələrdə kükürdün miqdarı az (0.1–0.3 %), parafin-naften karbohidrogenlərinin miqdarı isə nisbətən çoxdur (89–90 %). İM həlledici kimi yüksək selektivlik və seçiciliyə malikdir. Morfolinformiatın göstəriciləri aşağıda verilib [8]:

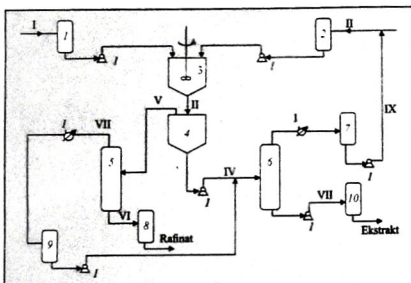
Göstəricilər	İM tərkibi
Sıxlıq, kq/m ³	1.135
Qaynama temperaturu, °C.....	232
Ərimə temperaturu, °C.....	-5
Kritik temperatur, °C.....	426
Kritik təzyiq, MPa.....	5.24
Molekul kütləsi.....	133
Donma temperaturu, °C.....	-4.5
Kinematik özlülük, mm ² /s.....	8.18 (+20 °C)
İcazə verilən maksimal konsentrasiyası (IVMK), mq/m ³	Ekoloji zərərsizdir

Cədvəl 1

Göstəricilər	Transformator yağları		
	İM ilə selektiv təmizləmədən sonra	TY 38.401-58-101-97 üzrə T-1500	Nytro 10XN (İsveç)
Kinematik özlülük, 50 °C-də, mm ² /s	6.78-7	7.9	6.7
Bağlı putada alışıma temperaturu, °C	135	135	135
Turşu ədədi, mqKOH/q	Neytral	0.01	0.01
Sıxlıq, 20 °C-də, kq/m ³	876.6-877	885	895
Stabillik, ГОСТ 981-75 üzrə, oksidləşmədən sonra:			
çöküntünün miqdarı, %	Yoxdur	0.015	0.015
Oksidləşmiş yağın turşu ədədi, mqKOH/q	0.1	0.15	0.3-dən çox olmamalı
Kükürdün miqdarı, %	0.1-0.3	0.3	Yoxdur
Rəng, vahid ilə	1	1.5	-
Dielektrik itkilər bucağının tangensi, 90 °C-də, % (50 Hz), %	0.31-0.5	1.7	0.5
Karbohidrogenlərin miqdarı, %:			
Aromatik	10-11	21.4	11.3
Parafin-naften	89-90	78.6	88.3

Ədəbiyyat araşdırmaları və aparılmış tədqiqat-
lardan görünür ki, distillatdan kükürdün ən effektiv
şəkildə ayrılması, morfolin və qarışqa əsasında sin-
tez edilmiş İM istifadə edərək müəssisədə olunur [5].
Selektiv təmizləmədən alınan ekstraktın analizi
göstərib ki, onun tərkibində parafin-naftən karbohid-
rogenləri yoxdur (distillatı furfurolla təmizlədikdə
alınan rafinatda parafin-naftən karbohidrogenlərinin
miqdarı 12.5 % olur), ekstraktı aromatik karbohid-
rogenlərin miqdarı 65 %, furfurolla təmizləmədə isə
40.8 % təşkil edir. Bundan əlavə qeyd etmək vacib-
dir ki, İM selektiv həlledici kimi zərərsizdir (fenol
üçün İVMK – 0.3 mq/m³, furfuroll üçün 10 mq/m³,
N-metilpirrolidin 100 mq/m³ təşkil edir) [6–8].

Şəkildə yağ distillatının seçici həlledici olan
İM (morfolin və qarışqa turşusunun dördlü am-
monium duzu) ilə selektiv təmizləmənin texnoloji
sxemi verilib [8].



Yağ fraksiyalarının ion maye tərkibli təmizləməsinin
prinsipial texnoloji sxemi:

1 – distillat xammalı üçün tutum; 2 – İM üçün tutum;
3 – ekstraktor; 4 – durulducu çən; 5, 6 – rafinat və ekstrakt
məhlulundan İMM-nin regenerasiyası üçün kolonlar;
7 – İMM üçün tutum; 8 – rafinat üçün tutum; 9 – distil-
lə edilmiş İM üçün tutum; 10 – ekstrakt üçün tutum;
11 – nasos; 12 – soyuducu.
I – xammal – distillat; II – İM; III – distillat və İM-nin
qarışığı; IV – ekstrakt məhlulu; V – rafinat məhlulu;
VI – rafinat; VII – İM; VIII – ekstrakt; IX – İM

Proses laboratoriyada və təcrübə zavodunun
sınaq qurğusunda aparılmış, sınaq zavod qur-
ğusunun məhsuldarlığı 10 l/saat təşkil etmişdir.
Təmizləmə məqsədi ilə xammal – distillat tutu-
munda 1 ekstraktora 3 verilir, həmin ekstraktora
tutum 2-dən İM ötürülür, kontaktdan sonra xam-
malın İM ilə qarışığı durulducu çənə 4, ayrılmış
rafinat məhlulu İM-in qalıq hissəsindən təmizlə-
məsi üçün kolonun 5 yuxarisına, sonra isə rafinat
kolonun aşağı hissəsindən tutuma 8 verilir. Eks-
trakt məhlulu durulducu çən 4 aşağı hissəsindən
İM-in kolonun 6 aşağısından ayrılması üçün daxil
olur, ekstrakt tutuma 10 verilir. İon mayesi kolon-
dan 5 tutuma 9 verilir, oradan kolona 6 və 7 tutu-
munda keçərək tutuma 2 qaydır.

Qeyd etmək lazımdır ki, mineral transforma-
tor yağlarının aşağı işləmə temperaturu onların
özü-özünə alovlanmasına gətirib çıxara bilər, bu
yağlar üçün termik destruksiya xarakterikdir, od-
dan təhlükəlidir və s.

Mineral transformator yağlarından başqa daha
az alovlanan sintetik transformator yağları və quru
transformatorlar mövcuddur [9–13].

Cədvəl 2-də sintetik və neft əsaslı transforma-
tor yağlarının keyfiyyət göstəriciləri müqayisəli
şəkildə verilib.

MIDEL-7131 yağı mineral transformator yağ-
larının yerinə istifadə olunan sintetik poliefir di-
elektrikdir. MIDEL-7131 yağı 1970-ci ildə MS
Materials şirkəti tərəfindən IECG1099 və DINVDE
0375 standartı üzrə hazırlanıb. Bu yağ ekoloji bio-
parçalanan poliefir, qeyri-kanseroqendir, onun
keyfiyyət göstəriciləri aşağıda verilib [10–12]:

Kinematik özlülük, 100 °C-də, mm ² /s.....	6
Turşu ədədi, mqKOH/q.....	0.02
Aşılma temperaturu, °C.....	257
Donma temperaturu, °C.....	-48.6
Təhlükəlik sinfi.....	0

Məlumdur ki, yağlar mikroorqanizmlər tərəfin-
dən asanlıqla parçalanır.

Cədvəl 1

İzolyasiya tipi	Aşılma temperaturu, °C	Öz-özünə aşılma temperaturu, °C	Oda qarşı davamlıq	Rütubəti özündə saxlama qabiliyyəti, ppm	Zəhərləmə qabiliyyəti	1 kq-ın təxmini qiyməti, AZN
Mineral transformator yağı	140	180	0	35	Az zəhərlidir	0.24
MIDEL-7131	318	405	K	580	Az zəhərlidir	4.74
Sovtol	600-dən yuxarı	Alovlanmır	L	Hiqroskopik deyil	Zəhərlidir	İstehsalatdan çıxarılıb
Eleqaz	Alovlanmır	Alovlanmır	L	Suda az həll olunur	Zəhərlidir	4.74

Sovtol qeyri-alışqan dielektrikdir, dielektrik
xassələrini bütün işləmə müddətində qoruyub sax-
layır, yəni qarşı təhlükəsizdir. Onu xarakterizə
edən göstəricilər aşağıda verilib:

Sıxlıq, 20 °C-də, kq/m ³	31560
Dielektrik itkilər bucağının tangensi, 90 °C-də, %.....	12 çox olmamalı
Turşu ədədi, mqKOH/q.....	0.01 çox olmamalı
Kinematik özlülük, 90 °C-də, mm ² /s.....	6
Elektrik davamlığı, 65 °C-də, kV.....	30 çox olmamalı

Sovtol – zəhərli birləşmədir, onun tərkibində
polixlorbifenil (PXB) var. Bu yağ yalnız Rusiya-
nın Novosibirsk şəhərində istehsal olunurdu [9].
Yüksək zəhərliliyinə görə 1985-ci ildən etibarən
istehsal edilmir. PXB və trixlorbenzolun qarışığı
xüsusən zəhərlidir.

Eleqaz transformatorları

Qaz dolu transformatorlarda izolyasiya va-
sitəsi kimi inert birləşmə olan SF₆ qazı gərginliyi
110 kV və tezliyi 50 Hz olan transformatorlarda
istifadə edilir. SF₆ eleqazı olduqca inert birləş-
mədir, 1100 °C-də parçalanır, parçalanma qazları
zəhərlidir, onların icazə verilən maksimal qatılığı
(İVMQ) 5000 mq/m³ təşkil edir, havanın İVMK –
0.001 mq/m³-dir [14].

Sintetik transformator yağı kimi sofeksil-TCЖ
silikon maye dielektrikindən istifadə olunur [13].

Ədəbiyyat siyahısı

1. Литвин Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. 3-е издание, переработанное и дополненное. – М.: “Энергоатомиздат”, 1983, 296 с.
2. <https://www.elec.ru/articles/kachestvennoe-transformatornoe-maslo-nadymozhnyj-tr/>
3. <https://webstore.iec.ch/justpublished>
4. <https://leg.co.ua/info/transformatory/tipy-transformatornyh-masel.html>
5. Гайне А.А., Сомов В.Е., Залищевский Г.Д. Морфолин и его производные. Получение, свойства и применение в качестве селективного растворителя. – СПб: “Химиздат”, 2007, 336 с.
6. Азизов А.Г., Ибрагимова М.Д., Самедова Ф.И., Гасанова Р.З., Назиев В.А., Ахмедбекова С.Ф. Химический и структурно-групповой состав трансформаторного масла, полученного очисткой ионной жидкостью // Нефтепереработка и нефтехимия, 2008, № 3, с. 46-48.
7. Ибрагимова М.Д., Азизов А.Г., Гасанова Р.З., Назиев В.А., Самедов Р.Б. Очистка нефтяных дистиллятов ионно-жидкостным составом // Азербайджанское нефтяное хозяйство, 2009, № 10, с. 41-47.
8. Самедов Р.Б., Самедова Ф.И., Ибрагимова М.Д., Азизов А.Г., Гасанова Р.З., Ахмедбекова С.Ф., Назиев В.А. Очистка средневязкого масляного дистиллята селективным растворителем на основе морфолинформатной ионной жидкости // Нефтепереработка и нефтехимия, 2009, № 6, с. 22-26.
9. Папуша А.И., Нифонтов И.Н., Александров М.М. К вопросу об утилизации совтола // Электрика, 2002, № 2, с. 26-28.
10. <https://www.midel.com/app/uploads/2018/05/MIDEL-7131-Product-Brochure.pdf>
11. <https://www.elec.ru/articles/midel-7131-poliefirnyj-dielektrik-vmesto-mineralno/>
12. http://gercon-ltd.ru/files/MIDEL_abb.pdf
13. <https://www.sofex-silicone.ru/>
14. <https://elec.ru/manuals>

Sofeksil-TCЖ oddan təhlükəsizdir və termik
destruksiya uğramır (TV 2229-026-42642526-
2001) [13]:

Kinematik özlülük, 20 °C-də, mm ² /s.....	50
Sıxlıq, kq/m ³	955–965
Dielektrik itkilər bucağının tangensi, 20 °C-də, %.....	0.001

Nəticə

Məqalədə ekoloji zərərsiz ion-maye tərkiblərə
(qarışqa turşusu və bir sıra aminlər əsasında dörd-
lü ammonium duzları) təmizləmədən alınmış
yüksəkkeyfiyyətli transformator yağının tədqiqat
nəticələri verilib. Bu yağ oksidləşməyə qarşı
yüksək stabilliyi, tərkibində aromatik karbohid-
rogenlərin miqdarı 8–10 % və kükürdün miqdarı
dünya təcrübəsində ≈0.2 % qəbul olunmuş miq-
darı təşkil edir. Göstərilib ki, İM yüksək seçicilik
və selektivliyə malikdir. Yağ fraksiyalarının İM ilə
laboratoriya qurğusunda selektiv təmizləməsinin
prinsipial texnoloji sxemi verilib. Proses təcrübə
zavodunda yağların selektiv təmizləmə qurğusun-
da aprobeasiya edilib. Zavodda alınmış nəticələr la-
boratoriyada əldə edilmiş nəticələrlə üst-üstə dü-
şür. Göstərilən proses gələcəkdə xarici analoqlarla
bir səviyyədə olan yüksəkkeyfiyyətli transforma-
tor yağlarının alınmasına imkan yaradır. Məqalədə
həmçinin sintetik transformator yağlarının tətbiqi
haqqında məlumat verilib.

1. *Lipshcheyn R.A., Shakhnovich M.I.* Transformer oil [Transformatornoye maslo]. 3-ye izdaniye, pererabotannoye i dopolnennoye. – M.: "Energoatomizdat" – 3rd edition, revised and enlarged. – M.: "Energoatomizdat", 1983, 296 p., II.
2. <https://www.elec.ru/articles/kachestvennoe-transformatornoe-maslo-nadyozhnyj-tr/>
3. <https://webstore.iec.ch/justpublished>
4. <https://leg.co.ua/info/transformatory/tipy-transformatornyh-masel.html>
5. *Gayle A.A., Somov V.Ye., Zalizcheyevskiy G.D.* Morpholine and its derivatives. Obtaining, properties and use as a selective solvent. [Morfolin i yego proizvodnyye. Polucheniye, svoystva i primeneniye v kachestve selektivnogo rastvoritelya]. – SPb: "Khimizdat", 2007, 336 s.
6. *Azizov A.G., Ibragimova M.D., Samedova F.I., Gasanova R.Z., Nagiyev V.A., Akhmedbekova S.F.* Chemical and structural-group composition of transformer oil obtained by purification with ionic liquid. [Khimicheskii i strukturno-gruppovoy sostav transformatornogo masla, poluchennogo ochistkoy ionnoy zhidkostyu]. *Neftepererabotka i neftekhimiya* - Oil refining and petrochemistry, 2008, No. 3, pp. 46-48.
7. *Ibragimova M.D., Azizov A.G., Gasanova R.Z., Nagiyev V.A., Mamedov R.B.* Purification of petroleum distillates with an ionic-liquid composition [Ochistka neftyanykh distillyatov ionno-zhidkostnym sostavom]. *Azerbaydzhanskoye neftyanoye khozyaystvo* // Azerbaijan Oil Industry, 2009, No. 10, pp. 41-47.
8. *Mamedov R.B., Samedova F.I., Ibragimova M.D., Azizov A.G., Gasanova R.Z., Akhmedbekova S.F., Nagiyev V.A.* Purification of medium-viscosity oil distillate with a selective solvent based on a morpholine formate ionic liquid. [Ochistka srednevязkogo maslyanogo distillyata selektivnym rastvoritelem na osnove morfolinformatnoy ionnoy zhidkosti]. *Neftepererabotka i neftekhimiya* – Oil refining and petrochemistry, 2009, No. 6, pp. 22-26.
9. *Papusha A.I., Nifontov I.N., Aleksandrov M.M.* On the question of disposal of sovtol. [K voprosu ob utilizatsii sovtola]. *Elektrika* - Electrica, 2002, No. 2, pp. 26-28.
10. <https://www.midel.com/app/uploads/2018/05/MIDEL-7131-Product-Brochure.pdf>
11. <https://www.elec.ru/articles/midel-7131-poliefirnyj-dielektrik-vmesto-mineralno/>
12. http://gercon-ltd.ru/files/MIDEL_abb.pdf
13. <https://www.sofex-silicone.ru/>
14. <https://elec.ru/manuals>