

ДЕСТРУКЦИЯ ОТРАБОТАННОГО СОВТОЛА В ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯХ И УТИЛИЗАЦИЯ ТОКСИЧНЫХ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА БАРИЯ

Маймеков Зарлык Капарович, академик ИА КР, д.т.н., профессор, Кыргызско-Турецкий Университет «Манас», Кыргызстан, 720038, г.Бишкек, мкр. Джал, e-mail: z.maymekov@mail.ru ORCID 0000-0002-9117-262X

Маймеков Тимур Зарлыкович, студент, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Россия, 141701, г.Долгопрудный, Институтский пер., 9, e-mail: maymekov.tz@phystech.edu

Самбаева Дамира Асанакуновна, чл.-корр. ИА КР, д.т.н., профессор, Институт горного дела и горных технологий им.академика У. Асаналиева КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720001, г.Бишкек, пр.Чуй, 215, e-mail: d.sambaeva@gmail.com ORCID 0000-0002-9834-341X

Шайкиева Нурзат Турганбековна, к.х.н., старший преподаватель, Кыргызско-Турецкий Университет «Манас», Кыргызстан, 720038, г.Бишкек, мкр. Джал, e-mail: nurshay@mail.ru ORCID 0000-0002-3929-8006

Изаков Жанарбек Батырбекович, младший научный сотрудник, Кыргызско-Турецкий Университет «Манас», Кыргызстан, 720038, г.Бишкек, мкр. Джал, e-mail: faecondor@gmail.com ORCID 0000-0002-1008-643X

Маратбекова Айжана Маратбековна, преподаватель, Институт горного дела и горных технологий им.академика У. Асаналиева КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720001, г.Бишкек, пр.Чуй, 215, e-mail: maratbekovaaijana@gmail.com ORCID 0000-0002-3858-9231

Аннотация. В статье рассмотрены процессы высокотемпературного разложения, отработанного совтола, используемых в электротрансформаторах в качестве изолирующих жидкостей. Полученные результаты показали, что при деструкции совтола в среде оксида бария (BaO -5), воды (H_2O -1) и кислорода (O_2 -1) в пределах изменения температуры $T=273$ - 3123 К и давлении равном $P=0,1$ МПа образуются низкомолекулярные хлорсодержащие компоненты и частицы типа: Cl , Cl_2 , ClO , ClO_2 , Cl_2O , HCl , HOCl , CCl , ClCO , Cl_2CO , CHCl , CH_2Cl , CH_3Cl , HClCO . Следовательно, оксид барий в газожидкостной среде с активным хлором и хлористым водородом образуют соединений типа: BaCl , $\text{BaCl}_2(\text{c})$, BaCl_2 , BaOHCl , BaCl^+ . Максимальное содержание хлоридов соответствует к гидроксид хлориду бария, далее BaCl_2 , и конденсированный хлорид бария $\text{BaCl}_2(\text{c})$. Как было отмечено выше, что при субкритических условиях (температура высокая до 3123 К), благодаря увеличению растворимости совтола в среде кислород-вода и, следовательно, доступности воды (H_2O) для проведения химической реакции, а также возрастанию скорости реакции с ростом температуры, становится возможным проведение эффективного гидролитического разложения совтола с последующим связыванием образующегося различных видов хлора в газовой фазе (Cl , Cl_2 , ClO , ClO_2 , Cl_2O , HCl , HOCl , CCl , ClCO , Cl_2CO , CHCl , CH_2Cl , CH_3Cl , HClCO) с оксидом бария BaO .

Ключевые слова: электротрансформатор, полихлорбифенил, совтол, разложение, оксид бария, утилизация, моделирование, расчет

DESTRUCTION OF PROCESSED SOVTOL IN ELECTRIC EQUIPMENT COUNTER AND DISPOSAL OF TOXIC CHLORINE CONTAINING SUBSTANCES BASED ON BARIUM OXIDE

Maymekov Zarlyk Kaparovich, Academician of IA KR, Dr., Prof, Kyrgyz-Turkish Manas University, Kyrgyzstan, 720038, Bishkek, Djal, e-mail: z.maymekov@mail.ru ORCID 0000-0002-9117-262X

Maymekov Timur Zarlykovich, student, Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Russia, 141700, Dolgoprudny, Institutskiy per, 9, e-mail: maymekov.tz@phystech.edu

Sambaeva Damira Asanakunovna, Corr. IA KR, Dr., Prof, Institute of Mining and Mining Technologies named after academician U.Asanaliyev of KSTU named after I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720001, Bishkek, Chui avenue, 215, e-mail: d.sambaeva@gmail.com ORCID 0000-0002-9834-341X

Shaikieva Nurzat Turganbekovna, PhD, senior lecturer, Kyrgyz-Turkish Manas University, Kyrgyzstan, 720038, Bishkek, Djal, e-mail: nurshay@mail.ru ORCID 0000-0002-3929-8006

Izakov Janarbek Batyrbekovich, Junior Researcher, Kyrgyz-Turkish Manas University, Kyrgyzstan, 720038, Bishkek, Djal, e-mail: faecondor@gmail.com ORCID 0000-0002-1008-643X

Maratbekova Aizana Maratbekovna, lecturer, Institute of Mining and Mining Technologies named after academician U.Asanaliyev of KSTU named after I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720001, Bishkek, Chui avenue, 215, e-mail: maratbekovaaijana@gmail.com ORCID 0000-0002-3858-9231

Abstract. The article discusses the processes of high-temperature decomposition of spent sovtol used in electrical transformers as insulating liquids. The results showed that with the

destruction of sovtol in a medium of barium oxide (BaO -5), water (H_2O -1) and oxygen (O_2 -1), within the limits of temperature variation $T=273\text{-}3123\text{ K}$ and pressure equal to $P=0.1\text{ MPa}$, low molecular weight is formed chlorine-containing components and particles of the type: Cl , Cl_2 , ClO , ClO_2 , Cl_2O , HCl , HOCl , CCl , ClCO , Cl_2CO , CHCl , CH_2Cl , CH_3Cl , HClCO . Consequently, barium oxide in a gas-liquid medium with active chlorine and hydrogen chloride forms compounds of the type: BaCl , BaCl_2 (c), BaCl_2 , BaOHCl , BaCl^+ . The maximum content of chlorides corresponds to hydroxide barium chloride, then BaCl_2 , and condensed barium chloride $\text{BaCl}_2(\text{c})$. As noted above, under subcritical conditions (the temperature is high up to 3123 K), due to an increase in the solubility of sovtol in an oxygen - water environment and, consequently, the availability of water (H_2O) for carrying out a chemical reaction, as well as an increase in the reaction rate with increasing temperature, It is possible to carry out effective hydrolytic decomposition of sovtol with the subsequent binding of various types of chlorine in the gas phase (Cl , Cl_2 , ClO , ClO_2 , Cl_2O , HCl , HOCl , CCl , ClCO , Cl_2CO , CHCl , CH_2Cl , CH_3Cl , HClCO) with barium oxide BaO .

Keywords: electrical transformer, polychlorobiphenyl, sovtol, decomposition, barium oxide, utilization, modeling, calculation

Введение. В электроэнергетике промышленных предприятий для повышения пожарной безопасности трансформаторных подстанций использовались и продолжают эксплуатироваться в довольно большом количестве трансформаторы с негорючим жидким диэлектриком совтолом ($\text{C}_{12}\text{H}_5\text{Cl}_5$ - 90%) + ($\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_3$ - 10%). Достоинством совтола являются негорючесть и хорошие диэлектрические свойства, сохраняющиеся в течение всего срока работы электрооборудования. Применение совтола взамен традиционно используемого трансформаторного масла позволило в свое время значительно уменьшить стоимость строительной части электротехнических помещений, повысить пожарную безопасность объектов и снизить затраты на эксплуатацию электрооборудования. Электрооборудование с совтоловым заполнением снято с производства в 1985 г и запрещено к применению ввиду высокой токсичности совтола для человека и окружающей среды и больших трудностей утилизации совтола [1 - 5]. Следует отметить, что длительное вдыхание его паров может вызвать хроническое отравление организма человека. Совтол по внешнему виду прозрачная, бесцветная или желтоватая жидкость, не содержащая воды и механических примесей и имеющая следующие характеристики: плотность - $1,56\text{ г/см}^3$, кинематическая вязкость - 14 сСт при 65°C , удельная теплоемкость при 20°C - 1,6. Дж/(кг·К), теплопроводность 0,14 Вт/(мК). В табл.1 приведены основные технические данные совтоловых трансформаторов, которые выпускались Чирчикским трансформаторным заводом типа ТНЗ, а на рис.1 схема высокотемпературной установки ВС-ТВ для утилизации совтола [6 - 10].

Таблица 1

Основные технические данные трехфазных двухобмоточных совтоловых трансформаторов [5 - 10]

Трансформатор	Мощность, кВт·А	Верхний предел номинального напряжения, кВ		Потери, кВт		Ток XX, %	Напряжение КЗ, %
		ВН	НН	XX	КЗ		
ТНЗ-25/10	25	10	0,4; 0,23	0,12	0,49	3,0	4,5
ТНЗ-40/10	40	3,6; 10	0,4; 0,23	0,15	0,85	3,0	4,5
ТНЗ-250/10	250	10	0,69	-	-	-	-

ТНЗ-400/10	400	10	0,23;	-	-	-	-
ТНЗ-630/10	630	10	0,4; 0,69	1,31	7,60	1,8	5,5
ТНЗ-1000/10	1000	10	0,4; 0,69	1,90	10,80	1,2	5,5
ТНЗ-1600/10	1600	10	0,69; 0,4	2,65	16,50	1,0	6,0
ТНЗ-2500/10	2500	6; 10	0,4; 0,69	3,75	24,00	0,8	6,0

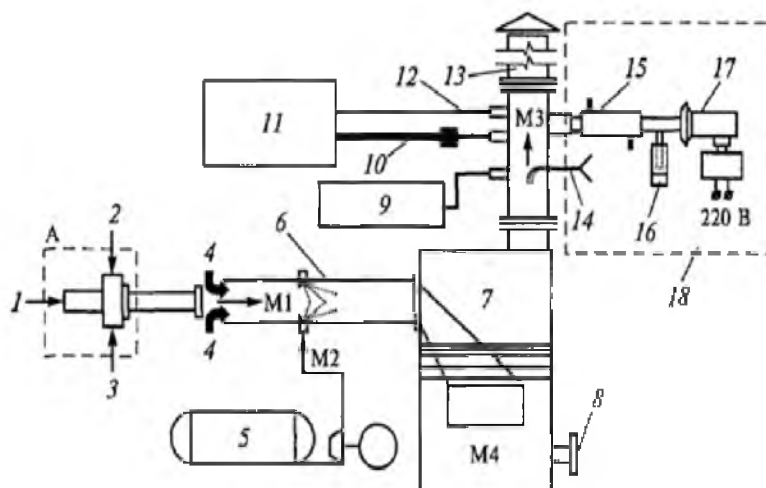


Рис.1. Схема высокотемпературной установки ВС-ТВ для утилизации совтола [5, 9]: А - камера высокотемпературного горения; М1 - сжигаемые газы в камере дожигания; М2 - впрыскиваемый нейтрализующий раствор NaOH; М3 - топочный газ; М4 - отработанный раствор NaOH; 1 - керосин; 2 - кислород; 3 - совтол; 4 - воздух; 5 - нейтрализующая жидкость (раствор NaOH); 6 - нейтрализатор; 7-9 - пробоотборник; 10 - блок измерения содержания O₂ (избыток), CO, NO_x, SO₂; 11 - автоматизированный газовый анализатор; 12 - измеритель температуры топочного газа; 13 - вытяжная труба; 14 - расходомер; 15 - холодильник; 16 - сборник конденсата; 17 - фильтр и стационарный объемный вытяжной вентилятор; 18 - система отбора проб газов для определения содержания диоксинов и ПХБ

По схеме после слива совтола из трансформатора обмотки, магнитопровод (активное железо) и внутренности корпуса трансформатора должны промываться растворителем, который при этом загрязняется и также подлежит утилизации (сжиганию). Только после промывки обмотки и внутренних частей корпуса можно разбирать и сдавать на утилизацию черный и цветной металлический лом. В процессе сжигания проводится непрерывный контроль температуры газов и содержания CO, NO, NO₂, SO₂, CO₂ в отходящих газах. Хлорсодержащие компоненты и частицы можно связывать на основе оксида кальция, магния и бария [11 - 15]. В настоящей статье рассмотрены процессы деструкции совтола в среде оксида бария, воды и кислорода.

Методы и методика исследования. Изучена многокомпонентная система: совтол (C₁₂H₅Cl₅ - 0.9) + (C₆H₃Cl₃ - 0.1) + (BaO - 5) + (H₂O - 1) + (O₂ - 1); состав, моль/кг: С - 4.549, Н - 15.807, Cl - 1.930, Ва - 4.076, О - 18.827 при T=273-3100, P=0.1 МПа при максимуме энтропии [16]. Рассчитаны равновесные параметры при P=0.1 МПа, T=273-3023 К. Ниже приведены результаты при **T=273 К**: S=2.114, I=-6818.6, U=-6816.8, M=12.97, Cp=0.637, MMg=20.99, Cpg=1.62, Mu=0.960e-5, Lt=0.0226, Pr=0.68, z=0.8. Определены равновесные концентрации (моль/кг): H₂=0.13e-4, H₂O=7.46, HCl=0.23e-8, C(c)=0.2, CO=0.36e-11, CO₂=1.01, CH₄=0.21, C₂H₆=0.26e-9, BaCl₂(c)=0.96, BaCO₃(c)=3.11. При **T=3023 К**: S=5.776, I=-1021.8, U=-1426.3, M=17.85, Cp=0.893, MMg=56.00, Cpg=0.893, Mu=0.0001, Lt=0.20, Pr=0.46, z=0; равновесные концентрации (моль/кг): O=0.50, O₂=0.95, H=0.70, H₂=0.95, OH=1.1, HO₂=0.50e-3, H₂O=4.58,

$H_2O_2=0.19e-4$, $Cl=0.13$, $Cl_2=0.98e-5$, $ClO=0.27e-3$, $ClO_2=0.89e-8$, $Cl_2O=0.11e-9$, $HCl=0.26$, $HOCl=0.38e-4$, $C=0.30e-9$, $CO=2.76$, $CO_2=1.77$, $C_2O=0.61e-11$, $CH=0.30e-10$, $CH_2=0.15e-10$, $CH_3=0.12e-10$, $CH_4=0.11e-1$, $CHO=0.81e-5$, $CHO_2=0.68e-5$, $CH_2O=0.61e-7$, $CH_2O_2=0.24e-6$, $CCl=0.34e-10$, $ClCO=0.29e-6$, $Cl_2CO=0.14e-10$, $HClCO=0.22e-8$, $O_3=0.17e-8$, $Ba=0.005$, $Ba_2=0.20e-9$, $BaO=1.74$, $BaH=0.43e-4$, $BaOH=0.42$, $BaO_2H_2=0.54$, $BaCl=0.05$, $BaCl_2=0.17$, $BaOHCl=1.10$, $O^-=0.23e-4$, $O_2^-=0.27e-5$, $H^-=0.15e-5$, $OH^-=0.76e-4$, $HO_2^-=0.59e-7$, $H_3O^+=0.47e-11$, $Cl^-=0.006$, $BaO^+=0.23e-3$, $BaOH^+=0.00$, $BaCl^+=0.44e-3$.

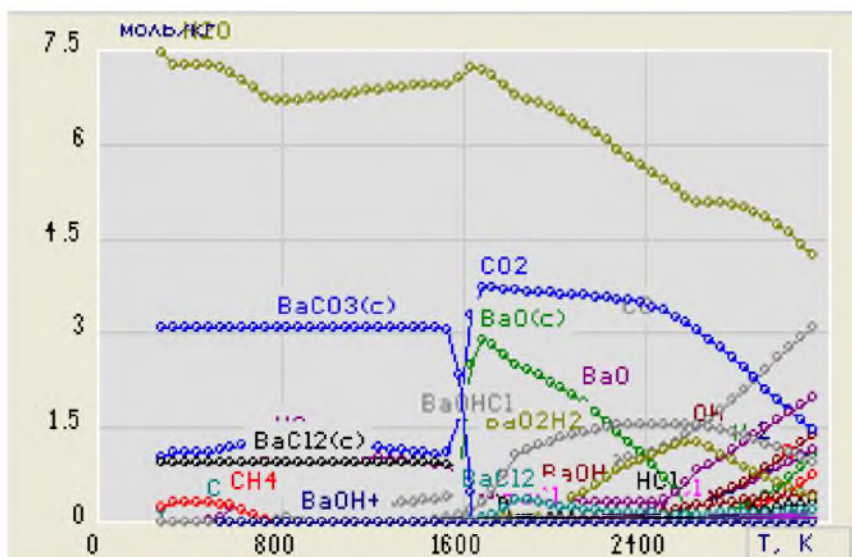


Рис.2. Зависимости концентрации кислород, водород, углерод, хлор и барий содержащих компонентов и частиц от температуры деструкции смеси: совтол-оксид бария-вода-кислород

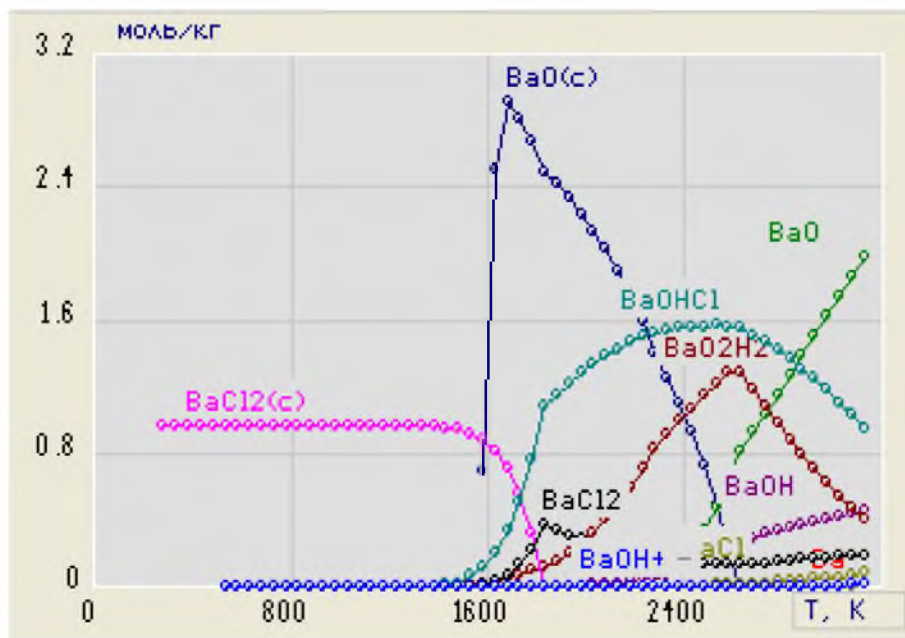


Рис.3. Зависимости концентрации барий содержащих компонентов и частиц от температуры деструкции смеси: совтол-оксид бария-вода-кислород

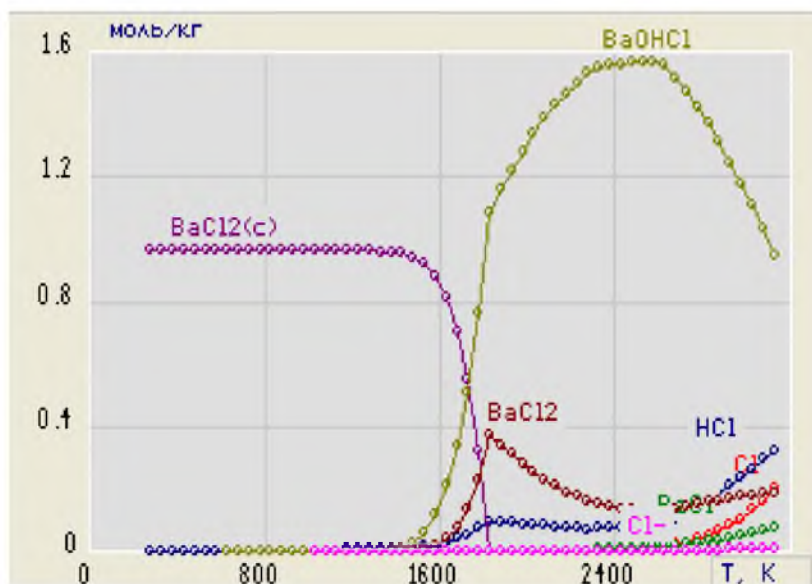


Рис.4. Зависимости концентрации хлорсодержащих компонентов и частиц от температуры деградации смеси: совтол-оксид бария-вода-кислород

Результаты и обсуждения. Полученные результаты показали, что при деградации совтола: $(C_{12}H_5Cl_5 - 0.9) + (C_6H_3Cl_3 - 0.1) + (BaO - 5) + (H_2O - 1) + (O_2 - 1)$; состав, моль/кг: С-4.549, Н-15.807, Cl-1.930, Ва-4.076, О-18.827 в пределах изменения температуры $T=273-3123$ К и давлении равном $P=0,1$ МПа образуются низкомолекулярные хлорсодержащие компоненты и частицы типа (табл. 2): Cl, Cl₂, ClO, ClO₂, Cl₂O, HCl, HOCl, CCl, ClCO, Cl₂CO, CHCl, CH₂Cl, CH₃Cl, HClCO, Cl⁻. Концентрация атомарного хлора при температурах 2973-3123 К составляет 0,1049-0,1995 моль/кг; хлористого водорода при $T=2773-3123$ К изменяется в пределах 0,1384-0,324 моль/кг, т.е. значительная. Остальные хлорсодержащие частицы встречаются в незначительных количествах в газовой фазе. Следовательно, оксид бария в газожидкостной среде с активным хлором и хлористым водородом образуют соединений типа (табл.3, рис.3 и 4): BaCl, BaCl₂(с), BaCl₂, BaOHCl, BaCl⁺. Содержание BaCl при температурах 2773-3123 К составляет 0,0263-0,0764 моль/кг; при разложении совтола: BaCl₂(с) при 273-1773 К, 0,9649-0,3212 моль/кг; BaCl₂ 1773-3123 К, 0,2281-0,1837 моль/кг; BaOHCl при 1773-3073 К, 0,7583-1,0312 моль/кг. Максимальное содержание хлоридов соответствует гидроксид хлориду бария BaOHCl=1.5322 моль/кг при $T=2273$ К, далее BaCl₂=0.2281 моль/кг при 1773 К, а конденсированный хлорид бария составляет BaCl₂(с)=0.9649-0.9612 моль/кг при 273-1273 К. Отмечено, что при субкритических условиях (температура высокая до 3123 К), увеличению растворимости совтола в среде кислород-вода и, следовательно, доступности воды ($H_2O=4.58$ моль/кг при $T=3023$ К) для проведения химической реакции, а также возрастанию скорости реакции с ростом температуры, становится возможным проведение эффективного гидролитического разложения совтола с последующим связыванием образующегося различных видов хлора в газовой фазе (Cl, Cl₂, ClO, ClO₂, Cl₂O, HCl, HOCl, CCl, ClCO, Cl₂CO, CHCl, CH₂Cl, CH₃Cl, HClCO) с оксидом бария BaO (1.15-1.986 моль/кг при $T=2273-3123$ К) и гидроксидом бария (Ba(OH)₂: 0.824-0.9857 моль/кг при $T=2273-2773$ К) /Ba(OH)₂, Тпл.=1920°C, Ткип.=2000 °C/, т.е. получением термически стойких низкомолекулярных хлоридов бария /BaCl₂, Тпл.=962°C, Ткип.=1560 °C/ типа: BaOHCl, BaCl₂ и BaCl₂(с).

Таблица 2

Распределение хлорсодержащих компонентов и частиц (моль/кг) при деструкции совтола в системе оксид бария-вода-кислород. Исходный состав: совтол ($C_{12}H_5Cl_5$ - 0.9) + ($C_6H_3Cl_3$ - 0.1) + (BaO - 5) + (H_2O - 1) + (O_2 - 1); состав, моль/кг: С - 4.549, Н - 15.807, Cl - 1.930, Ва - 4.076, О - 18.827. Параметры: T=273-3123 К, P=0,1 МПа

T	Cl	Cl ₂	ClO	ClO ₂	Cl ₂ O	HCl	HOCl	CCl	ClCO	Cl ₂ CO	CHCl	CH ₂ Cl	CH ₃ Cl	HCICO	Cl-
273	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	2,38e-09	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	8,03e-22	1,93e-22	1,93e-22
773	1,17e-15	6,17e-21	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	0,0004	3,91e-21	1,93e-22	2,54e-21	1,93e-22	1,93e-22	6,31e-21	4,56e-12	1,13e-15	1,93e-22
1273	1,25e-08	1,78e-13	1,43e-16	1,93e-22	1,93e-22	0,0067	6,97e-13	1,93e-22	2,77e-14	1,27e-17	1,76e-21	3,13e-17	7,8e-14	1,04e-12	1,92e-11
1773	8,71e-05	7,54e-09	1,01e-09	8,57e-17	2,72e-17	0,0724	2,04e-08	2,1e-17	1,92e-10	7,47e-14	1,86e-17	1,08e-15	6,48e-15	7,09e-11	1,87e-06
2273	0,0029	1,84e-07	1,23e-06	5,68e-12	1,15e-13	0,0719	1,3e-06	8,99e-15	4,65e-09	4,65e-13	8,7e-16	2,39e-15	5,74e-16	1,54e-10	0,0001
2773	0,038	2,37e-06	6,79e-05	1,73e-09	1,71e-11	0,1384	1,51e-05	2,17e-12	7,59e-08	3,97e-12	7,27e-14	3,99e-14	1,75e-15	7,66e-10	0,0025
2973	0,1049	7,62e-06	0,0002	6,77e-09	8,54e-11	0,2362	0,00003	2,05e-11	2,32e-07	1,18e-11	5,62e-13	2,12e-13	6,26e-15	1,85e-09	0,0054
3073	0,1628	1,24e-05	0,0003	1,15e-08	1,63e-10	0,2945	4,43e-05	5,61e-11	3,69e-07	1,82e-11	1,4e-12	4,45e-13	1,09e-14	2,63e-09	0,0076
3123	0,1995	1,54e-05	0,0004	1,44e-08	2,18e-10	0,324	5,01e-05	9,03e-11	4,54e-07	2,18e-11	2,15e-12	6,26e-13	1,4e-14	3,05e-09	0,0088

Таблица 3

Распределение барий содержащих компонентов и частиц (моль/кг) при деструкции совтола в системе оксид бария-вода-кислород. Исходный состав: совтол ($C_{12}H_5Cl_5$ - 0.9) + ($C_6H_3Cl_3$ - 0.1) + (BaO - 5) + (H_2O - 1) + (O_2 - 1); состав, моль/кг: С - 4.549, Н - 15.807, Cl - 1.930, Ва - 4.076, О - 18.827. Параметры: T=273-3123 К, P=0,1 МПа

T	Ba	Ba ₂	BaO(c)	BaO	BaH	BaOH	BaO ₂ H ₂	BaCl	BaCl ₂ (c)	BaCl ₂	BaOHCl	BaCO (c)	BaO+	BaOH+	BaCl+
273	1,93e-22	1,93e-22	1e-30	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	0,9649	1,93e-22	1,93e-22	3,11102	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22
773	1,93e-22	1,93e-22	1e-30	1,93e-22	1,93e-22	1,93e-22	1,45e-16	1,93e-22	0,9646	9,94e-14	6,82e-14	3,11123	1,93e-22	4,16e-19	3,51e-21
1273	7,97e-15	1,93e-22	1e-30	1,12e-10	2,88e-17	2,3e-08	2,84e-05	9,89e-10	0,9612	8,62e-05	0,0003	3,11419	1,41e-20	1,9e-11	2,24e-13
1773	3,71E-08	8,41E-20	2,673	0,0002	1,39E-10	0,0012	0,0931	0,0001	0,3212	0,2281	0,7583	1E-30	1,11E-11	1,81E-06	7,22E-08
2273	2,44E-05	1,72E-14	1,4132	0,0838	1,06E-07	0,0585	0,824	0,0035	1,15E-27	0,1595	1,5322	1,15E-27	1,47E-07	0,0001	4,25E-06
2773	0,001328	2,22E-11	1E-30	1,150	8,6E-06	0,3349	0,9857	0,0268	1E-30	0,1497	1,4237	1E-30	3,77E-05	0,0028	9,78E-05
2973	0,0039	1,36E-10	1E-30	1,625	3,21E-05	0,4097	0,6235	0,0507	1E-30	0,175	1,1799	1E-30	0,0001	0,0062	0,0003
3073	0,0066	3,16E-10	1E-30	1,866	0,00005	0,4376	0,4739	0,0671	1E-30	0,1827	1,0312	1E-30	0,0003	0,0087	0,0005
3123	0,0085	4,73E-10	1E-30	1,986	0,00007	0,4488	0,4086	0,0764	1E-30	0,1837	0,95209	1E-30	0,0004	0,0101	0,0007

Список литературы

1. Кухарчик Т.И., Полихлорированные бифенилы в электрооборудовании / Т.И. Кухарчик, С.В.Какарека, П.В. Цытик. - Мн.: РУП «Минсктип проект», 2003. - 28 с.
2. ГОСТ 15957-70.Трансформаторы (и автотрансформаторы) трехфазные силовые масляные общего назначения класса напряжения 220 кВ.
3. Справочник по электротехническим материалам: В 3 т. / Под ред. Ю. В. Корицкого и др. Изд. 3-е, перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - Т. 1. - 368с.
4. Янин Е. П. Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты) / Е. П. Янин. - М.: ИМГРЭ, 1998. – 281 с.
5. Аршинов И.П. Утилизация совтола содержащего электрооборудования / И.П. Аршинов //Электрика, 2002. - №1. - С.30-31.
6. Баптиданов Л.М. Электрические станции и подстанции / Л.М. Баптиданов, В.И. Тарасов - М.: Энергия, 1969. -424 с.
7. Быстрицкий Г.Ф. Силовые трансформаторы промышленных предприятий. Учебное пособие для проектирования по курсу «основы электроснабжения» / Г.Ф. Быстрицкий, Б.И. Кудрин -М.: Издательство МЭИ, 2001. - 51 с.
8. Инструкции по эксплуатации трансформаторов-М.: Энергия, 1978. - 80 с.
9. Папуша А.И. К вопросу об утилизации совтола / А.И. Папуша, Л.П. Нифтонов, М.М. Александров // Электрика, 2002. - №2. - С.26-28.
10. Пестряева Л.М. Трансформаторы с трудногорючей экологически чистой электроизоляционной жидкостью / Л.М. Пестряева // Электрика, 2001. - №4.
11. Маймеков З.К. Разложение отработанного совтола электротрансформаторов и утилизация токсичных хлорсодержащих веществ на основе оксида бария / З.К. Маймеков, Д.А. Самбаева, Ж.Б. Изаков, Т.З. Маймеков // Сб. мат. меж. научно-прак. конф. - Тараз, 2019. - С. 11 - 15.
12. Маймеков З.К. Распределение хлорсодержащих веществ в газовой фазе при высокотемпературном окислении 3-моноклорбифенила в кислородной среде / З.К. Маймеков, А.М. Маймеков, Д.А. Самбаева // Химический журнал Казахстана. - Алматы, 2012. - №3. - С. 112 - 115.
13. Маймеков З.К. Детоксикация 3-моноклорбифенила в водной среде при высоких температурах / З.К. Маймеков, А.М. Маймеков, Д.А. Самбаева // Химический журнал Казахстана. - Алматы, 2012. - №3. - С. 170 - 174.
14. Барий. // Популярная библиотека химических элементов. – М.: Издательство «Наука», 1977. - <https://ru.wikipedia.org/wiki/Барий>.
16. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов [Синярев Г.Б., Ватолин Н.А., Трусов Б.Г. и др.]. - М.: Наука, 1982. - 264 с.