

$$P = \int_0^T C_{\text{ЭКВ}}^{Rn}(t) dt = \overline{C_{\text{ЭКВ}}^{Rn}} \cdot T, \quad (2)$$

$C_{\text{ЭКВ}}^{Rn}(t)$  – радондун ЭТКАнын убакыт боюнча өзгөрүүчү мааниси,  $C_{\text{ЭКВ}}^{Rn}$  радондун ЭТКАсынын  $T$  убакыттын ичиндеги таасиринин орточо мааниси. Газ түрүндөгү радондун  $C_0^{Rn}(t)$  көлөмдүү активдүүлүгүнүн өзгөрүшү абадагы радондун көлөмдүү активдүүлүгүн токтоосуз белгилеп турган радон-монитордун жардамы менен аныкталышы мүмкүн.  $C_{\text{ЭКВ}}^{Rn}$  чоңдугун түздөн-түз баалоо үчүн радондун көлөмдүү активдүүлүгүн ченөөчү интеграциялоо каражаттарын колдонсо болот. Алар, бир нече жуманын же айдын ичинде ченөөлөрдү жүргүзүүгө мүмкүндүк берген– тректик же электрреттик детекторлор. Бул учурда радондун көлөмдүү активдүүлүгүнөн радондун ЭТКАсына өтүү үчүн  $F$  тең салмактык коэффициентин колдонуу зарыл.

**Жыйынтык:** Радондун ЭТКАсы менен нурлануунун радиациялык тобокелчилигин баалоонун негизги моделдерин колдонуунун өзгөчөлүктөрүнүн бири WLM бирдигинде көрсөтүлгөн (working level month – бир айдагы жумуштун деңгээли) тобокелчиликтин коэффициенттеринин баары радондун бөлүнүүсүнүн айкаш продуктылары боюнча экспозицияга нормалдаштырылгандыгы болуп саналат. 1 WLM чоңдугу 170 саат ичиндеги (1 айга созулган жумуш) 100 пКи/л (3700 Бк/м<sup>3</sup>) барабар радондун ЭТКАсынын экспозициясына ылайык келет. Ушуга байланыштуу ченелген  $P$  (Бк с/м<sup>3</sup>) экспозициясынын жылдык орточо мааниси WLM чоңдугу менен туюнтулган экспозиция чоңдугу кайра эсептелип чыгуу керек.

$$P_{\text{WLM}} = P_{\text{ЭРОА}} / (170 \cdot 3700), \quad (3)$$

$P_{\text{WLM}}$  – WLMде туюндурулган экспозиция,  $P_{\text{ЭРОА}}$  – Бк ч/м<sup>3</sup> бирдигинде туюндурулган радондун бөлүнүшүнүн айкаш продуктылары боюнча экспозиция.

#### Адабияттар

1. Жуковский М.В. Радон: измерение, дозы, оценка риска / М.В Жуковский, И.В Яρμοшенко. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. - 230 с.
2. Жуковский М.В. Расчет радиационных рисков при облучении дочерними продуктами распада радона/ М.В. Жуковский // АНРИ. 2001.- №1.
3. Коган Р.М. Основы гамма- спектрометрии природных сред / Р.М Коган, И.М. Назаров, Ш.Д.Фридман.- М.: Атомиздат, 1969.- С. 468.

УДК 544.2 (575.2) (04)

### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗЛОЖЕНИЯ ТЕТРАХЛОРДИФЕНИЛА И МИНИМИЗАЦИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ

*Самбаева Дамира Асанакунуовна, д.т.н., профессор, ИГДуГТ им. академика У.Асаналиева КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720001, г. Бишкек, пр. Чуй 215.*  
e-mail: damira\_sam@mail.ru

В работе рассмотрен хлорсодержащий дифенил ( $C_{12}H_4Cl_6$ ), техногенная нагрузка по хлору, а также процессы конверсии  $C_{12}H_4Cl_6$  в среде доломит-вода -кислород в широких спектрах изменения значения температуры; установлены спектры распределения равновесных составов и концентраций хлорсодержащих частиц и компонентов в газовой фазе в зависимости от температуры при максимуме энтропии системы; выявлены изменения свойств системы на основе расчета термодинамических ее характеристик; изучены



химические основы утилизации хлорсодержащих частиц и компонентов, приведена технологическая схема с целью выдачи практических рекомендаций.

**Ключевые слова:** полихлорбифенил, вода, кислород, доломит, моделирование, хлорсодержащее вещество, термодинамический параметр, разложение.

## PHYSICO-CHEMICAL MODELING OF THE PROCESS OF DECOMPOSITION TETRAHLORDIFENILA AND MINIMIZING THE CONCENTRATION OF CHLORINE-CONTAINING SUBSTANCES IN THE GAS PHASE

*Sambaeva Damira Asanakunovna, Dr., Prof., Institute of Mining and Mining Technologies named after academician U. Asanaliyev of KSTU named after I. Razzakov, 215 Chui avenue, 720001, Bishkek, Kyrgyzstan. e-mail: damira\_sam@mail.ru*

At this work is considered a chlorine- containing biphenyl ( $C_{12}H_4Cl_6$ ), technogenic load on the chlorine and conversion processes  $C_{12}H_4Cl_6$  in the environment dolomite-water-oxygen in a wide range of changes in temperature values; set the spectra distribution of equilibrium compositions and concentrations of chlorine containing particles and components in the gaseous phase depending on the temperature at the maximum entropy of the system; identified changes of system properties on the basis of its calculation of the thermodynamic characteristics; studied the chemical bases of recycling chlorine-containing particles and components, shown a technological scheme for the purpose of issuing practical recommendations.

**Keywords:** polychlorinated biphenyl, water, oxygen, dolomite, modeling, chlorine-containing substance, thermodynamic parameter, decomposition

В настоящее время в отдельных производственных объектах и оборудовании электротехнической промышленности стран СНГ накоплены большие количества отработанных полихлорированных дифенилов (ПХД - с общей формулой  $C_{12}H_nCl_n$ ) и других токсичных хлорсодержащих веществ. Соответственно, в процессах их детоксикации используются различные методы их утилизации, основанные на удалении одного из четырех атомов галогена в молекуле стойких органических загрязнителей. Здесь обращают внимание исследователей - процессы деструкции хлорорганических соединений гидротермической детоксикацией, но из-за слишком малой растворимости этих веществ в воде при обычной температуре последний без применения органических растворителей может оказаться малоэффективным. Однако в субкритических условиях, благодаря значительному увеличению растворимости органических веществ в воде и, следовательно, доступности воды для проведения химической реакции, а также возрастанию скорости реакции с ростом температуры, становится возможным проведение эффективного гидролитического разложения полихлордифенилов [2-4].

В процессах дехлорирования могут применяться и нелетучие оксиды металлов, способные образовывать термически стойкие низкомолекулярные хлориды. В этом отношении наиболее приемлемым является оксиды щелочно-земельных металлов (кальция, магния, бария), а также их двойные карбонаты типа доломита являющиеся доступными реагентами [4,5,1].

С учетом вышеизложенных обстоятельств, в работе приведены результаты физико-химического моделирования [6,7]: термодеструкции тетрахлордифенила ( $C_{12}H_6Cl_4$ ) в среде доломит-вода-кислород в широких спектрах изменения температуры при максимуме энтропии системы (табл.1). Рассчитаны составы газовой фазы, образующиеся при нагреве  $C_{12}H_6Cl_4$  (рис.1, табл.2). Изучено влияние температуры на концентрации газообразных веществ, образующихся при разложении  $C_{12}H_6Cl_4$ . Разработана технологическая схема процесса конверсии  $C_{12}H_6Cl_4$  на основе доломита, воды и кислорода (рис.2).



Таблица 1

Физико-химические параметры системы:  $C_{12}H_6Cl_4$  (1) -  $H_2O$  (1) -  $O_2$  (1) состав, моль/кг:  
 С-13.699, Н-43.855, Сl-4.566, О-39.337,  $p=0.1$  МПа,  $T=298$  К

$p=0.1$	$T=298$	$v=0.843827$	$S=6.97237$	$I=-9042.87$
$U=-9042.83$	$M=37.3932$	$C_p=1.18777$	$k=1.31303$	$C_p'=1.26563$
$k'=1.28823$	$A_p=0.0033558$	$B_v=0.0033558$	$G_t=0.00001$	$MM_g=28.1859$
$R_g=294.983$	$C_{p_g}=1.20768$	$k_g=1.3232$	$C_p'g=1.20795$	$k'g=1.32313$
$Mu=0.0000117$	$L_t=0.0209438$	$L_t'=0.0210911$	$Pr=0.673258$	$Pr'=0.668701$
$A=329.704$	$z=0.0400688$			

продолжение таблицы 1

Равновесные концентрации (моль/кг):

$H_2 = 0.1103e-3$	$H_2O = 19.128$	$HCl = 4.5664$	$C(c) = 3.336$
$CO = 0.5571e-9$	$CO_2 = 10.105$	$CH_4 = 0.25834$	$C_2H_6 = 0.4801e-9$
$CH_3Cl = 0.4951e-11$			

T=448 К

$p=0.1$	$T=448$	$v=1.2694$	$S=7.52161$	$I=-8839.95$
$U=-8882.41$	$M=35.2266$	$C_p=1.27857$	$k=1.28471$	$C_p'=1.44025$
$k'=1.24808$	$A_p=0.0022495$	$B_v=0.0022488$	$G_t=0.0000101$	$MM_g=28.9389$
$R_g=287.307$	$C_{p_g}=1.28098$	$k_g=1.28914$	$C_p'g=1.3312$	$k'g=1.28045$
$Mu=0.0000182$	$L_t=0.0346503$	$L_t'=0.0698329$	$Pr=0.672503$	$Pr'=0.34677$
$A=397.97$	$z=0.0137792$			

Равновесные концентрации (моль/кг):

$H_2 = 0.04449$	$H_2O = 16.917$	$HCl = 4.5663$	$C(c) = 1.1472$
$CO = 0.7027e-4$	$CO_2 = 11.21$	$CH_4 = 1.3416$	$C_2H_6 = 0.2379e-6$
$CH_2O_2 = 0.2438e-8$	$C_2H_4O_2 = 0.2220e-10$	$CH_3Cl = 0.6582e-8$	

T=598 К

$p=0.1$	$T=598$	$v=1.71502$	$S=7.98858$	$I=-8595.74$
$U=-8681.74$	$M=34.4937$	$C_p=1.3771$	$k=1.26304$	$C_p'=1.97678$
$k'=1.20571$	$A_p=0.0018589$	$B_v=0.0018477$	$G_t=0.0000105$	$MM_g=28.9908$
$R_g=286.793$	$C_{p_g}=1.3771$	$k_g=1.26304$	$C_p'g=1.97678$	$k'g=1.21684$
$Mu=0.0000243$	$L_t=0.0513085$	$L_t'=0.492822$	$Pr=0.651561$	$Pr'=0.0973749$
$A=453.358$	$z=0$			

Равновесные концентрации (моль/кг):

$H_2 = 0.85049$	$H_2O = 15.378$	$HCl = 4.5663$	$CO = 0.02276$
$CO_2 = 11.968$	$CH_4 = 1.7081$	$C_2H_4 = 0.2971e-9$	$C_2H_6 = 0.1969e-5$
$C_3H_8 = 0.1665e-10$	$CH_2O = 0.4633e-9$	$CH_2O_2 = 0.1075e-6$	$C_2H_4O_2 = 0.3239e-9$
$CH_3Cl = 0.1502e-6$	$C_2H_5Cl = 0.1127e-10$		

T=748 К

$p=0.1$	$T=748$	$v=2.26586$	$S=8.59714$	$I=-8183.27$
$U=-8319.54$	$M=36.4337$	$C_p=1.48583$	$k=1.25608$	$C_p'=3.51821$
$k'=1.17368$	$A_p=0.0018426$	$B_v=0.0018013$	$G_t=0.0000111$	$MM_g=27.4471$
$R_g=302.923$	$C_{p_g}=1.48583$	$k_g=1.25608$	$C_p'g=3.51821$	$k'g=1.19033$
$Mu=0.0000301$	$L_t=0.0760846$	$L_t'=1.1684$	$Pr=0.587659$	$Pr'=0.0906116$
$A=509.875$	$z=0$			

Равновесные концентрации (моль/кг):

$H = 0.3548e-11$	$H_2 = 4.1633$	$H_2O = 14.005$	$Cl = 0.4190e-11$
$HCl = 4.5663$	$CO = 0.58992$	$CO_2 = 12.371$	$CH_3 = 0.9215e-11$
$CH_4 = 0.73809$	$C_2H_4 = 0.1243e-7$	$C_2H_6 = 0.1263e-5$	$C_3H_8 = 0.1091e-10$
$CH_2O = 0.4739e-7$	$CH_2O_2 = 0.7906e-6$	$C_2H_4O_2 = 0.5904e-9$	$CH_3Cl = 0.4595e-6$
$C_2H_5Cl = 0.2327e-10$	$HClCO = 0.3115e-10$		



T=898 K

p=0.1	T=898	v=2.82827	S=9.10877	I=-7768.08
U=-7957	M=37.8805	Cp=1.55702	k=1.25357	Cp'=1.89926
k'=1.2079	Ap=0.0011393	Bv=0.0011375	Gt=0.0000101	MMg=26.3988
Rg=314.952	Cpg=1.55702	kg=1.25357	Cp'g=1.89926	k'g=1.20963
Mu=0.0000353	Lt=0.0964044	Lt'=0.0964044	Pr=0.570554	Pr'=0.695965
A=584.049	z=0			

Равновесные концентрации (моль/кг):

H = 0.1600e-8	H <sub>2</sub> = 5.6294	OH = 0.3652e-11	H <sub>2</sub> O = 13.986
Cl = 0.1266e-8	Cl <sub>2</sub> = 0.8322e-11	HCl = 4.5663	CO = 2.0174
CO <sub>2</sub> = 11.667	CH <sub>3</sub> = 0.7131e-10	CH <sub>4</sub> = 0.0147	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> = 0.8838e-9
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> = 0.2530e-8	CHO = 0.7144e-11	CHO <sub>2</sub> = 0.3970e-11	CH <sub>2</sub> O = 0.1837e-6
CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 0.1276e-5	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> = 0.2922e-10	CH <sub>3</sub> Cl = 0.7372e-7	HClCO = 0.2771e-9

Из приведенных выше данных видно, что физико-химические и термодинамические параметры изученной системы изменяются с ростом температуры, в частности такие, как удельный объем, энтропия, полная энтальпия, полная внутренняя энергия, число молей, Ср-теплоемкость при постоянном давлении, показатель адиабаты, удельная теплоемкость (равновесная), показатель адиабаты (равновесный), изобарический коэффициент объемного расширения, изохорический термический коэффициент давления, изотермическая сжимаемость, энергия Гиббса, молярная масса газовой фазы, теплоемкость газовой фазы, показатель адиабаты газовой фазы; коэффициент динамической вязкости, коэффициент теплопроводности, полный коэффициент теплопроводности, число Прандтля; массовая доля конденсированных фаз.

Равновесные концентрации отдельных компонентов (моль/кг): H<sub>2</sub> = 0.6057e-4 ; H<sub>2</sub>O = 9.5066; HCl = 0.1123e-3; C(c) = 4.9563; CO = 0.1900e-9; CO<sub>2</sub> = 3.1192; CH<sub>4</sub> = 0.20673; C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 0.5599e-9; MgCO<sub>3</sub>(c) = 3.3893; CaCl<sub>2</sub>(c) = 0.33124; CaCO<sub>3</sub>(c) = 3.0581 (рис.1), полезны при расчете движущей силы процесса деструкции тетрахлордифенила. При разложении C<sub>12</sub>H<sub>6</sub>Cl<sub>4</sub> в составе газовой фазы обнаружены низкомолекулярные вещества, типа: Cl, ClO, HCl, HClCO, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, CaOHCl, CH<sub>3</sub>Cl, MgOHCl (табл.2, рис.2).

Таблица 2

### Распределение хлорсодержащих частиц в газовой фазе

Исходный состав: C<sub>12</sub>H<sub>6</sub>Cl<sub>4</sub> (1)-CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (5)-H<sub>2</sub>O (1)-O<sub>2</sub> (1), моль/кг: C-11.916, H-16.446, Cl-1.712, Ca-3.389, Mg-3.389, O-35.087

p	T	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Cl	HCl	C(c)	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> Cl	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl
0,1	298	4,18e-05	8,025	1,93e-22	0,000126	1,24703	2,31e-10	4,64735	0,098872	1,38e-16	1,05e-21
0,1	448	0,01710	7,1484	1,93e-22	0,001858	0,379825	0,000029	5,08434	0,5282	2,74e-12	1,25e-16
0,1	598	0,32474	6,6185	3,27e-18	0,009218	5,36e-29	0,014722	8,72578	0,637527	2,96e-10	2,17e-14
0,1	748	1,56237	6,1649	2,12e-14	0,020667	1e-30	0,356654	8,77301	0,242638	1,82e-09	8,08e-14
0,1	898	1,8423	6,357	1,2e-11	0,036293	1e-30	1,03649	8,32531	0,002698	3,29e-10	5,65e-16

p	T	HClCO	MgO(c)	MgCl <sub>2</sub>	MgOHCl	MgCO <sub>3</sub> (c)	CaO <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub> (c)	CaCl <sub>2</sub>	CaOHCl	CaCO <sub>3</sub> (c)
0,1	298	1,93e-22	1e-30	1,93e-22	1,93e-22	3,38932	1,93e-22	0,856128	1,93e-22	1,93e-22	2,53319
0,1	448	3,33e-20	1e-30	1,93e-22	1,93e-22	3,38931	1,93e-22	0,855261	1,93e-22	1,93e-22	2,53405
0,1	598	7,93e-16	3,38931	2,61e-15	1,42e-18	1e-30	1,93e-22	0,851581	1,71e-17	1,59e-21	2,53773
0,1	748	1,81e-13	3,38931	4,5e-12	2,12e-14	1e-30	2,19e-19	0,845856	3,89e-12	5,27e-15	2,54345
0,1	898	2,44e-12	3,38931	6,02e-10	1,3e-11	1e-30	3,69e-14	0,838043	1,32e-08	1,15e-10	2,55127



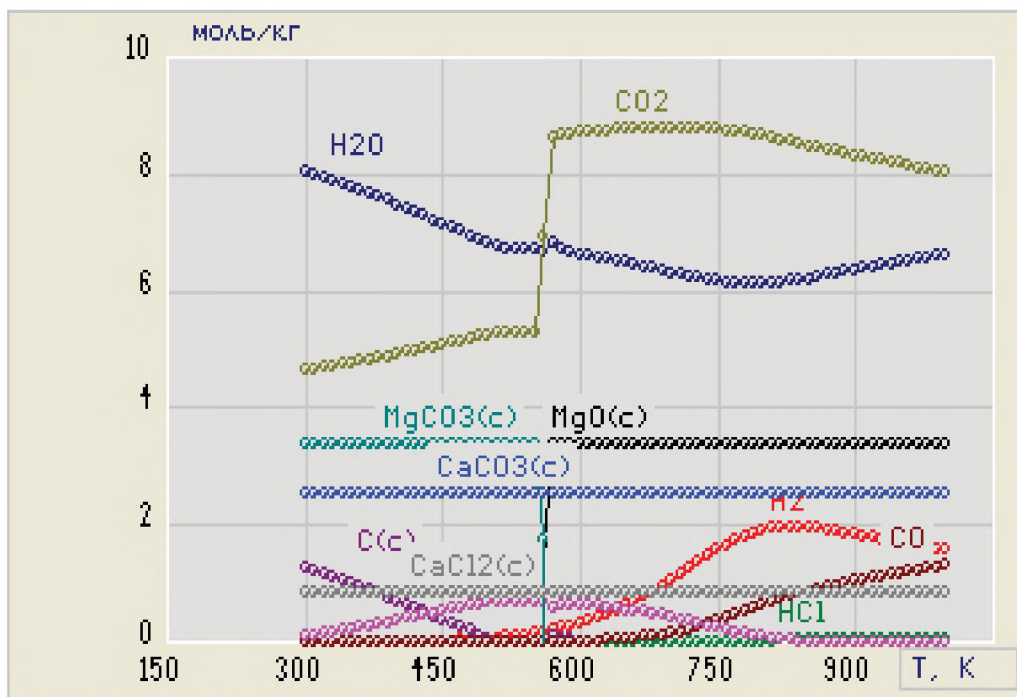
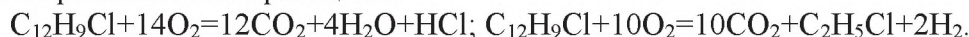


Рис. 1. Зависимости концентрации (моль/кг) основных компонентов и частиц в системе  $C_{12}H_6Cl_4-CaMg(CO_3)_2-H_2O-O_2$  при различных температурах

Тетрахлордифенил, в молекуле которых число атомов хлора 4, энергетически выгоднее окислятся до образования  $CO_2$ ,  $H_2O$  и хлорсодержащих продуктов (например,  $HCl$ ) без образования промежуточных продуктов окисления  $C_{12}H_{8-x}Cl_xO_1$ . Например, реакция разложения  $C_{12}H_9Cl$  [5]:  $C_{12}H_9Cl + 1/2O_2 = C_{12}H_7OCl + H_2$ ;  $C_{12}H_9Cl + 3/2O_2 = C_{12}H_7O_2Cl + H_2O$ ;  $C_{12}H_9Cl$  может разлагаться по реакциям:



Отмечено, что термическая стабильность технических смесей (ТС), представляющих собой смесь ПХД следующая: «Совол» ( $C_{12}H_7Cl_3$ -1%,  $C_{12}H_6Cl_4$ -15%,  $C_{12}H_5Cl_5$ -53%,  $C_{12}H_4Cl_6$ -26%,  $C_{12}H_3Cl_7$ -4%) и «Арохлор-1221» ( $C_{12}H_{10}$ -10%,  $C_{12}H_9Cl$ -35%,  $C_{12}H_8Cl_2$ -50%,  $C_{12}H_7Cl_3$ -4%,  $C_{12}H_6Cl_4$ -1%). При разложении технических смесей «Арохлор-1221» и «Совол» в составе газовой фазы обнаружены не только ПХДД/Ф, но и другие хлорсодержащие вещества, например:  $Cl$ ,  $Cl_2$ ,  $ClO$ ,  $ClO_2$ ,  $Cl_2O$ ,  $HCl$ ,  $HOCl$ ,  $ClCO$ ,  $Cl_2CO$ ,  $HClCO$ . Обнаружено, что наибольшие концентрации в газовой фазе при нагреве ТС «Арохлор-1221» приходится на  $Cl$ ,  $Cl_2$  и  $HCl$ .

Из полученных зависимостей видно, что увеличение температуры приводит к возрастанию содержания в газовой фазе хлорсодержащих компонентов, кроме  $Cl_2$  (его содержание заметно уменьшается). Следовательно, протекание данной реакции возможно, а увеличение температуры приводит к смещению равновесия вправо (в сторону атомарного хлора). Увеличение давления (по принципу Ле Шателье) смещает равновесие влево. Результаты проведенных исследований показывают, что сжигание ТС при избытке воздуха и при температуре более  $1000^\circ C$  исключает возможность образования ПХДД/Ф. Общая концентрация  $HCl$  и  $Cl_2$  больше, чем суммарная концентрация всех остальных хлорсодержащих веществ.

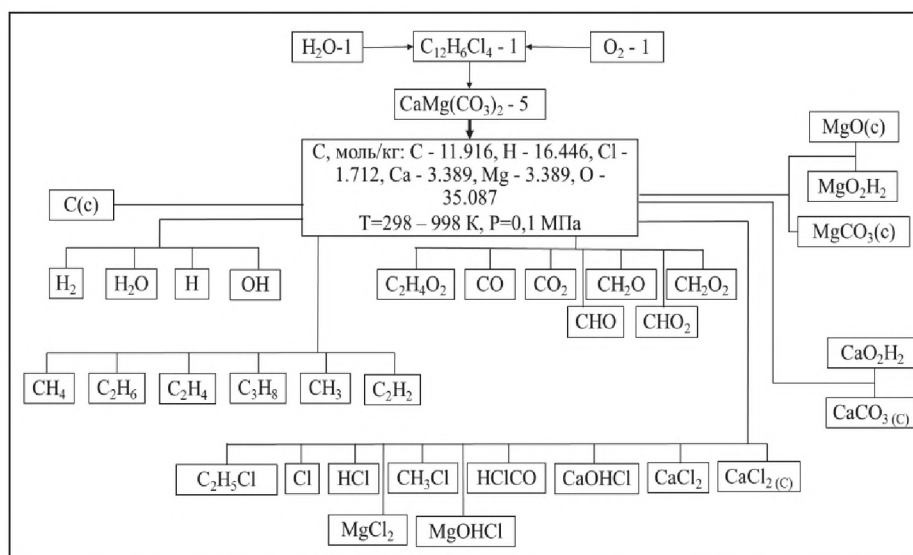


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема конверсии тетрахлорбифенила в газо-жидкостной среде с участием твердой фазы:  $C_{12}H_6Cl_4$  (1) -  $CaMg(CO_3)_2$  (5) -  $H_2O$  (1) -  $O_2$  (1), состав моль/кг: C - 11.916, H - 16.446, Cl - 1.712, Ca - 3.389, Mg - 3.389, O - 35.087, T=298-998K; P=0.1 МПа

**Выводы:** Осуществлено физико-химическое моделирование термодеструкции тетрахлордифенила ( $C_{12}H_6Cl_4$ ) в среде: доломит-вода-кислород в широких спектрах изменения температуры. Рассчитаны составы газовой фазы, образующиеся при нагреве  $C_{12}H_6Cl_4$  и установлены энергетические параметры процесса разложения полихлордифенила ( $C_{12}H_6Cl_4$ ). Конверсия хлорсодержащих токсичных органических веществ ( $C_{12}H_6Cl_4$ ) в среде  $CaMg(CO_3)_2$ - $H_2O$ - $O_2$  показали, что оксиды металлов в карбонате вступают в реакцию с неароматическими хлорированными углеводородами с образованием устойчивых хлоридов. При дехлорировании на их основе отмечают также образование низкомолекулярных углеводородов, соответственно снижается суммарный выброс полихлорированных ароматических соединений. Разработана технологическая схема процесса конверсии  $C_{12}H_6Cl_4$  на основе доломита. Полученные результаты полезны в процессах минимизации техногенных нагрузок полихлордифенилов в окружающей природной среде.

### Список литературы

1. Джумаев И.А. Управление полихлорированными дифенилами в Кыргызской Республике / И.А. Джумаев, О.И. Печенюк, М.К. Ильязов .- Сборник статей.- Бишкек, 2011. – 256 с.
2. Маймеков З.К. Разработка процесса получения диоксида углерода путем разложения техногенного карбоната кальция минеральными кислотами /З.К. Маймеков, Д.А. Самбаева, Ж.Д. Сыдыков // Химическая технология. - 2009. – № 3. – Т.10. – С.139–143.
3. Маймеков З.К. Научные основы оптимизации процессов сжигания жидкого топлива и рекарбонизации водно-солевых систем /З.К. Маймеков. – Бишкек, 2015. – 410 с.
4. Маймеков З.К. Распределение хлорсодержащих веществ в газовой фазе при высокотемпературном окислении 3-монохлорбифенила в кислородной среде /З.К. Маймеков, А.М. Маймеков, Д.А. Самбаева //Химический журнал Казахстана. –2012. – №3. – С.112–115.
5. Маймеков З.К. Детоксикация 3-монохлорбифенила в водной среде при высоких температурах /З.К. Маймеков, А.М. Маймеков, Д.А. Самбаева // Химический журнал Казахстана. – Алматы, 2012. – №3. – С.170-174.
6. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов / Г.Б. Синярев, Н.А. Ватолин, Б.Г. Трусов, Г.К. Моисеев .-Москва: Наука, 1982. – 264 с.
7. Трусов Б.Г. Моделирование химических и фазовых равновесий при высоких температурах (АСТРА. 4/РС) /Б.Г. Трусов .- Москва, 1995. – 43 с.