

Апсаматова Г., Маймеков З.К., Самбаева Д.А., Кемелов К.А., Молдобаев М.Б.

**КУМУРСКА КИСЛОТАСЫ-ФОРМАЛЬДЕГИД-КЫЧКЫЛТЕК-
СУУ-КАЛЬЦИЙ КЫЧКЫЛЫ СИСТЕМАСЫНДАГЫ БӨЛҮКЧӨЛӨРДҮН 15⁰С
ТЕМПЕРАТУРАДА КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫК ТАРАЛЫШЫ**

Апсаматова Г., Маймеков З.К., Самбаева Д.А., Кемелов К.А., Молдобаев М.Б.

**КОНЦЕНТРАЦИОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ В СИСТЕМЕ:
МУРАВЬИНАЯ КИСЛОТА-ФОРМАЛЬДЕГИД-КИСЛОРОД-ВОДА-ОКСИД
КАЛЬЦИЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 15⁰С**

G. Apsamatova, Z.K. Maimekov, D.A. Sambaeva, K.A. Kemelov, M.B. Moldobaev

**CONCENTRATION DISTRIBUTION OF PARTICLES IN
THE SYSTEM: FORMIC ACID- FORMALDEHYDE-OXYGEN -WATER-CALCIUM
OXIDE OF TEMPERATURE 15⁰С**

УДК: 615.9-547.281.1

Макалада Гиббс энергиясынын минимумунда $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ жана $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O-CaO}$ гетерогендик системасын изилдөө жыйынтыктары берилди. 283К температурасында жана 0,1 МПа басымы алдында курамында көмүртек, кычкылтек, суутек, кальций кармаган бөлүкчөлөрдүн жана компоненттердин таралышы көрсөтүлдү. Системанын физика-химиялык, термодинамикалык өзгөчөлүктөрү көрсөтүлдү жана фазалардын өзгөчөлүктөрү, көз каранды жана көз каранды эмес компоненттери, эритмедеги катион менен аниондордун концентрациялык таралышы берилди. $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ системасынын суутектик көрсөткүчү 3,744, ал эми кальций кычкылынын катышуусунда кальция $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O-CaO}$ системасыныкы $\text{pH}=7,733$ түздү. Бул чоңдуктар кумурска кислотасы менен кальцийдин кычкылынын суу чөйрөсүндө кычкылтектин катышуусунда өз ара аракеттешүүсү жараянынын жүрүшүн көрсөтөт.

Негизги сөздөр: формальдегид, кумурска кислотасы, кычкылтек, суу, кальций кычкылы, Гиббс энергиясы, таралуу, концентрация.

В статье изложены результаты исследований гетерогенной системы: $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ и $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O-CaO}$ при минимуме энергии Гиббса. Показано распределение углерод, кислород, водород, кальций содержащих компонентов и частиц при температуре 283К и давлении 0,1МПа. Приведены физико-химические и термодинамические параметры системы, а также параметры фазы, независимые и зависимые компоненты, концентрационное распределение катионов и анионов в растворе. Водородный показатель системы $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ оставил 3,744, а для системы с участием оксида кальция $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O-CaO}$ $\text{pH}=7,733$, что и показывает протекание процесса взаимодействия муравьиной кислоты с оксидом кальция в водной среде с участием кислорода.

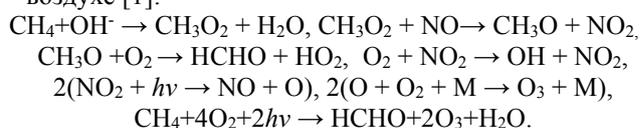
Ключевые слова: формальдегид, муравьиная кислота, кислород, вода, оксид кальция, энергия Гиббса, распределение, концентрация.

The article presents the research results of a heterogeneous system $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O-CaO}$ with a minimum of Gibbs energy. The distribution of carbon, oxygen, hydrogen, calcium-containing component and the particles at a temperature of 283K and a pressure of 0,1MPa. The physicochemical and thermodynamic parameters of the system, and phase parameters

dependent and independent components, the concentration distribution of the anions and cations in solution. Hydrogen indicator system $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ was 3,744, and the system involving calcium oxide $\text{HCOOH-HCOH-O}_2\text{-H}_2\text{O-CaO}$ $\text{pH}=7,733$, that shows the process flow of reacting formic acid with calcium oxide in an aqueous medium with oxygen.

Key words: formaldehyde, formic acid, oxygen, water, calcium oxide, Gibbs energy, distribution, concentration.

Введение. Формальдегид (метаналь, муравьиный альдегид) относится к малым газовым примесям воздуха. Молекулярная масса $\text{HCOH}-30,03$ г/моль, плотность $0,9151$ г/см³ (при -80^0), температура плавления -92^0 , температура кипения $-19,2^0$; бесцветный газ, с резким запахом. Чистый газообразный формальдегид относительно стабилен. При температурах ниже 80^0 он полимеризуется с образованием, различных твердых форм. Основная часть товарного формальдегида поставляется в виде формалин-водно-метанольного раствора, содержащего 35-37% формальдегида и 6-11% метанола, или водного раствора (37% формальдегида). Источники поступления формальдегида делятся на природные и антропогенные, которые в свою очередь подразделяются на первичные и вторичные. Первичные источники выделяют формальдегид, вторичные выделяют органические соединения, из которых в окружающей среде при определенных условиях может образоваться формальдегид. Формальдегид, в свою очередь, вступает во взаимодействие с примесями, присутствующими в атмосферном воздухе, образуя другие токсичные соединения или трансформируясь в конечном итоге до оксида углерода (II) и воды. Основным источником является метан. Из выделившегося метана в природе с помощью ультрафиолета и других газов образуется формальдегид. Последовательность химических реакций образования формальдегида в воздухе [1]:



Следует отметить, что выбросы метана из природных источников обусловлены при добыче нефти, угля и газа, в результате переработки отходов, со

свалок, выращивание риса и сжигания биомассы. Фоновые концентрации формальдегида составляют несколько мкг/м³, в городском воздухе достигают до 0,005-0,01 мг/м³. Вблизи промышленных источников его концентрация повышается. Наиболее высокие его концентрации наблюдаются в городских застройках в часы пик или в условиях фотохимического смога [2, 3].

В мире производят 5 млн.т формальдегида, который является реагентом для ряда важных синтезов. Образуется он не только в результате антропогенной деятельности, но и в естественных природных процессах, участвует в синтезе фотохимических продуктов во время смога. Поэтому его концентрация в атмосфере меняется по сезонам, достигая максимума в летние месяцы. Источником образования формальдегида в городах главным образом является автомобильный транспорт, в результате работы двигателей которого формальдегид выделяется в выхлопах совместно с другими недогоревшими углеводородами. Количество загрязняющих веществ в выхлопах автомобиля зависит от его общего состояния, особенно от состояния двигателя - источника наибольшего загрязнения. Формальдегид наряду с другими продуктами сгорания топлива содержится также в выбросах путевой техники на железнодорожном транспорте, в выхлопных газах газотурбинных двигателей самолетов [1-3].

При окислении формальдегида получается муравьиная кислота НСООН. Окисляясь, она дает щавелевую кислоту. В природе муравьиная кислота обнаружена в хвое, крапиве, фруктах, едких выделениях пчел и муравьев. При нагревании муравьиная кислота разлагается с образованием СО₂ и Н₂. Подобно альдегидам муравьиная кислота проявляет восстановительные свойства. Муравьиная кислота легко присоединяется к олефинам с образованием сложных эфиров. В больших количествах муравьиная кислота образуется в качестве побочного продукта при жидкофазном окислении бутана и легкой бензиновой фракции в производстве уксусной кислоты, ее также получают при гидролизе формамида. Муравьиную кислоту применяют как протраву при крашении и отделке текстиля и бумаги, обработке кожи; как консервант при силосовании зеленой массы, фруктовых соков, а также для дезинфекции объемов для пива и вина [2, 3].

Муравьиная кислота представляет собой бесцветную жидкость, которая растворима в бензоле, глицерине, а также ацетоне. Она не имеет характерного запаха. Как пищевая добавка муравьиная кислота зарегистрирована под обозначением Е236 и относится к группе консервантов. Пищевой консервант Е236 является хорошо растворимым в водной, масляной, а также спиртовой среде. Кроме того, опасность муравьиной кислоты напрямую зависит от ее концентрации. При концентрации муравьиной кислоты в воздухе производственных помещений 0,02-0,11 мг/л появляются признаки отравления живых организмов [2].

Материалы и методика исследования. С целью снижения техногенной нагрузки формальдегида и его продуктов в газовой фазе было изучено концентрационное распределение формальдегида и муравьиной кислоты в водной среде с участием кислорода и оксида кальция при температуре 283К и давлении 1 атм.

Формирование физико-химической модели гетерогенной системы: муравьиная кислота-формальдегид-кислород-вода-оксид кальция осуществлено путем поиска потенциально возможных в равновесии фаз, зависимых компонентов и состав системы по независимым компонентам при минимизации изобарно-изотермического потенциала. При этом расчет включил использование несколько баз исходных данных, вычисление термодинамических характеристик, проверке и сопоставления результатов из различных источников, а также обработки, корректировке и визуализации термодинамических параметров компонентов водного раствора электролита, газов, жидких и конденсированных фаз [4]. При проведении термодинамических расчетов составлены возможные молекулярные и ионные уравнения химических реакций, найдено мольное соотношение компонентов (С:Н:О:Са) в растворе и определена матрица изучаемой системы; осуществлен подбор значений температур и давления. Результаты исследований позволили рассчитать термодинамические параметры системы (G, H, S, U), определить равновесный состав, рН, Eh, ионную силу (I) раствора и установить спектр концентрационного распределения отдельных компонентов в фазах (ж, г, тв) при температуре 283 К и давлении P=10⁵ Па. Полученные результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Результаты исследований и их обсуждения. Муравьиная кислота проявляет общие свойства кислот, так как имеет функциональную карбоксильную группу. Реакция солеобразования доказывает кислотные свойства муравьиной кислоты. При этом образуются соли – формиаты. От остальных карбоновых кислот муравьиная кислота отличается тем, что карбоксильная группа в ней связана не с углеводородным радикалом, а с атомом водорода. Поэтому муравьиную кислоту можно рассматривать и как кислоту, и как альдегид. Подобно альдегидам, муравьиная кислота окисляется по схеме: НСООН+О=СО₂+Н₂О, а также разлагается при нагревании: НСООН =Н₂О+СО.

Изучение гетерогенной системы: НСООН-НСОН-О₂-Н₂О и НСООН-НСОН-О₂-Н₂О-СаО при минимуме энергии Гиббса показали распределение С,О,Н - содержащих частиц в газо-жидкостной среде. Формальдегид в среде кислород-вода образует муравьиную кислоту, и соответственно изменяются физико-химические и термодинамические параметры процесса взаимодействия исходных компонентов в системе: НСООН-НСОН-О₂-Н₂О (табл. 1): T=283,15K; P=0,1 МПа; V=0,04752м³, m=0,126кг, плотность=2,653 кг/м³; G=-1,29 МДж; H=-1,43 МДж; S=0,59 кДж/К; U=-1,42 МДж; Cp= 0,26 кДж; Eh=-

0,0372В; рН=3,7444; ионная сила=0,0002; TDS=11,146718мг/кг раствора.

В системе НСООН-НСОН-О₂-Н₂О-СаО (табл.2) получены следующие характеристики параметров: T=283,15К; P=0,1 МПа; V=0,047 м³, m=0,128кг, плотность = 2,707 кг/м³; G=-1,31 МДж; H=-1,453 МДж; S=0,59 кДж/К; U=-1,44 МДж; Cp=0,26 кДж. Eh=-0,267В; рН=7,733; ионная сила=1,08; TDS=105742,83 мг/кг раствора.

Концентрационное распределение частиц в водном растворе системы НСООН-НСОН-О₂-Н₂О при 283,15 К имеет следующий характер: СО₃⁻², НСО₃⁻, СН₃СОО⁻, СН₃СООН, СО₂, НСОО⁻, НСООН, СН₄, СН₃ОН, С₂Н₅СОО⁻, С₂Н₅СООН, СО, НСО₂⁻, Н₂СО₂,

ОН⁻, Н⁺, Н₂О; а в газовой фазе содержатся: СО, СО₂, СН₄, Н₂О.

В системе НСООН-НСОН-О₂-Н₂О-СаО обнаружены: СО₃⁻², Са⁺², СаСО₃, СаОН⁺, НСО₃⁻, СН₃СОО⁻, СН₃СООН, СО₂, Са(НСО₃)⁺, НСОО⁻, НСООН, СН₄, СН₃ОН, СО, НСО₂⁻, Н₂СО₂, ОН⁻, Н⁺, Н₂О, а в газовой фазе содержатся: СО, СО₂, СН₄, Н₂О.

Результаты показывают, что при участии оксида кальция в системе образуются частицы типа: Са⁺², СаСО₃, СаОН⁺, Са(НСО₃)⁺, т.е. водородный показатель меняется от 3,744 до 7,733. В газовой фазе НСОН и НСООН отсутствуют. Отмечено, что муравьиная кислота проявляет свойства кислот и с оксидом кальция образует формиата кальция по реакции: 2НСООН+СаО=(НСОО)₂Са+Н₂О (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Физико-химические и термодинамические параметры системы:
НСООН-НСОН-О₂-Н₂О (1:1:1:1)

| | | | | | |
|------------------------------|---------|----------|-------|---------------------|-----------|
| температура, К | 283,15 | G, МДж | -1,29 | Eh, В | -0,0372 |
| давление, МПа | 0,1 | H, МДж | -1,43 | - | - |
| объем, м ³ | 0,04752 | S, кДж/К | 0,59 | рН | 3,7444 |
| масса, кг | 0,126 | U, МДж | -1,42 | ионная сила | 0,0002 |
| плотность, кг/м ³ | 2,653 | Cp, кДж | 0,26 | TDS, мг/кг раствора | 11,146718 |

параметры фазы

| | | | | | |
|----------------|-----------------------|--------------|-----------|------------------------------|--------|
| название фазы | объем, м ³ | кол-во молей | масса, кг | плотность, кг/м ³ | вес, % |
| водный раствор | 4,48e-05 | 2,48e+00 | 0,0448 | 1,00e+03 | 35,58 |
| газ | 4,75e-02 | 2,02e+00 | 0,0812 | 1,71e+00 | 64,42 |

независимые компоненты

| | Хим. состав | Дисперсия баланса массы | Моляльность | мг/кг раствора | dual solution | Химический потенциал | Log моляльности |
|---|-------------|-------------------------|-------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|
| С | 2 | 1,08e-13 | 9,33e-02 | 1,12e+03 | 5,91765 | 3330 | -1,03 |
| Н | 6 | 6,71e-11 | 2,29e-03 | 2,31e+00 | -7,09217 | -3991 | -2,64 |
| О | 6 | 3,35e-11 | 1,86e-01 | 2,97e+03 | -86,11513 | -48455 | -0,731 |

зависимые компоненты

| компоненты и частицы | gT, МДж/моль | моляльность | количество молей | мг/кг раствора или вес,% | log молей | коэф. актив. | log коэф. актив | ln актив. |
|--|--------------|-------------|------------------|--------------------------|-----------|--------------|-----------------|-----------|
| водный раствор | | | | | | | | |
| СО ₃ ⁻² | -0,59 | 1,73e-11 | 7,75e-13 | 1,04e-06 | -10,761 | 0,9427 | -0,026 | -28,855 |
| НСО ₃ ⁻ | -0,61 | 9,13e-05 | 4,08e-06 | 5,57e+00 | -4,039 | 0,9854 | -0,006 | -13,334 |
| СН ₃ СОО ⁻ | -0,42 | 4,61e-11 | 2,06e-12 | 2,72e-06 | -10,336 | 0,9854 | -0,006 | -27,833 |
| СН ₃ СООН* | -0,44 | 4,76e-10 | 2,13e-11 | 2,86e-05 | -9,322 | 1 | 0 | -25,484 |
| СО ₂ * | -0,39 | 4,63e-02 | 2,07e-03 | 2,04e+03 | -1,334 | 1 | 0 | -7,09 |
| НСОО ⁻ | -0,40 | 6,76e-11 | 3,02e-12 | 3,04e-06 | -10,17 | 0,9854 | -0,006 | -27,45 |
| НСООН* | -0,42 | 7,01e-11 | 3,13e-12 | 3,22e-06 | -10,155 | 1 | 0 | -27,4 |
| СН ₄ * | -0,05 | 2,40e-04 | 1,07e-05 | 3,86e+00 | -3,619 | 1 | 0 | -12,351 |
| СН ₃ ОН* | -0,26 | 8,79e-16 | 3,92e-17 | 2,82e-11 | -15,056 | 1 | 0 | -38,686 |
| С ₂ Н ₅ СОО ⁻ | -0,44 | 7,16e-16 | 3,20e-17 | 5,23e-11 | -15,145 | 0,9854 | -0,006 | -38,906 |
| С ₂ Н ₅ СООН* | -0,46 | 9,74e-15 | 4,35e-16 | 7,21e-10 | -14,012 | 1 | 0 | -36,281 |
| СО* | -0,19 | 1,11e-13 | 4,94e-15 | 3,10e-09 | -12,956 | 1 | 0 | -33,851 |
| НСО ₂ ⁻ | -0,40 | 6,76e-11 | 3,02e-12 | 3,04e-06 | -10,17 | 0,9854 | -0,006 | -27,45 |
| Н ₂ СО ₂ * | -0,42 | 7,02e-11 | 3,14e-12 | 3,23e-06 | -10,153 | 1 | 0 | -27,397 |
| ОН ⁻ | -0,22 | 1,68e-11 | 7,51e-13 | 2,86e-07 | -10,774 | 0,9855 | -0,006 | -28,841 |
| Н ⁺ | -0,02 | 1,83e-04 | 8,16e-06 | 1,84e-01 | -3,738 | 0,9852 | -0,006 | -12,641 |
| Н ₂ О | -0,24 | 5,55e+01 | 2,48e+00 | 1,00e+00 | 1,744 | 1 | 0 | -0,002 |
| газ | | | | | | | | |
| СО | -0,19 | | 1,71e-10 | 0 | -9,766 | 1 | 0 | -23,189 |

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ КЫРГЫЗСТАНА № 2, 2016

| | | | | | | | | |
|------------------|-------|--|----------|------|--------|---|---|--------|
| CO ₂ | -0,39 | | 1,75e+00 | 94,6 | 0,242 | 1 | 0 | -0,144 |
| CH ₄ | -0,05 | | 2,50e-01 | 4,94 | -0,602 | 1 | 0 | -2,088 |
| H ₂ O | -0,24 | | 2,06e-02 | 0,46 | -1,686 | 1 | 0 | -4,583 |

параметры газа

| | фугитивность | log фуг. | парц. давл. | log парц. давл. | log коэф. фугит. | коэф. фугит |
|------------------|--------------|-----------|-------------|-----------------|------------------|-------------|
| CO | 8,49e-11 | -1,01e+01 | 8,49e-11 | -1,01e+01 | 0,00e+00 | 1 |
| CO ₂ | 8,66e-01 | -6,26e-02 | 8,66e-01 | -6,26e-02 | 0,00e+00 | 1 |
| HCO | 1,79e-44 | -4,37e+01 | 1,79e-44 | -4,37e+01 | 0,00e+00 | 1 |
| CH ₄ | 1,24e-01 | -9,07e-01 | 1,24e-01 | -9,07e-01 | 0,00e+00 | 1 |
| O ₂ | 1,00e-70 | -7,54e+01 | 1,00e-70 | -7,54e+01 | 0,00e+00 | 1 |
| H ₂ O | 1,02e-02 | -1,99e+00 | 1,02e-02 | -1,99e+00 | 0,00e+00 | 1 |

Таблица 2

Физико-химические и термодинамические параметры системы: HCOOH-HCOH-O₂-H₂O-CaO (1:1:1:1)

| | | | | | |
|------------------------------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|
| температура, К | 288,15 | G, МДж | -1,31 | Eh, В | -0,267 |
| давление, МПа | 0,1 | H, МДж | -1,45 | - | - |
| объем, м ³ | 0,047 | S, кДж/К | 0,59 | pH | 7,733 |
| масса, кг | 0,128 | U, МДж | -1,44 | ионная сила | 1,0853 |
| плотность, кг/м ³ | 2,707 | Ср, кДж | 0,26 | TDS, мг/кг раствора | 105742,83 |

параметры фазы

| название фазы | объем, м ³ | количество молей | масса, кг | плотность, кг/м ³ | вес, % |
|----------------|-----------------------|------------------|-----------|------------------------------|--------|
| водный раствор | 4,50e-05 | 2,52e+00 | 4,88e-02 | 1,09e+03 | 38,24 |
| газ | 4,71e-02 | 1,97e+00 | 7,89e-02 | 1,67e+00 | 61,76 |

независимые компоненты

| | химический состав | дисперсия баланса массы | моляльность | мг/кг раствора | dual solution | химический потенциал | Log моляльности |
|----|-------------------|-------------------------|-------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|
| C | 2 | -4,36e-14 | 1,35e+00 | 1,63e+04 | 5,56 | 3185 | 0,131 |
| Ca | 0,030 | 1,41e-09 | 6,76e-01 | 2,71e+04 | -212,98 | -121956 | -0,17 |
| H | 6 | 2,80e-10 | 1,23e+00 | 1,24e+03 | -7,01 | -4011 | 0,09 |
| O | 6,030 | 1,53e-09 | 3,99e+00 | 6,39e+04 | -84,71 | -48508 | 0,601 |

зависимые компоненты

| компоненты и частицы | gT, МДж/моль | моляльность | количество молей | мг/кг раствора или вес, % | log молей | коэф. актив. | log коэф. актив | ln актив. |
|------------------------------------|--------------|-------------|------------------|---------------------------|-----------|--------------|-----------------|-----------|
| водный раствор | | | | | | | | |
| CO ₃ ⁻² | -0,54 | 6,44e-04 | 2,84e-05 | 3,86e+01 | -3,19 | 2,34 | 0,37 | -10,54 |
| Ca ⁺² | -0,56 | 1,17e-01 | 5,18e-03 | 4,71e+03 | -0,93 | 0,24 | -0,63 | -7,63 |
| CaCO ₃ * | -1,11 | 6,11e-02 | 2,69e-03 | 6,11e+03 | -1,21 | 1,21 | 0,08 | -6,65 |
| CaOH ⁺ | -0,76 | 9,54e-08 | 4,20e-09 | 5,45e-03 | -7,02 | 0,74 | -0,13 | -20,51 |
| HCO ₃ ⁻ | -0,59 | 4,24e-01 | 1,87e-02 | 2,59e+04 | -0,37 | 1,80 | 0,26 | -4,31 |
| CH ₃ COO ⁻ | -0,40 | 2,02e-07 | 8,89e-09 | 1,19e-02 | -6,70 | 1,89 | 0,28 | -18,83 |
| CH ₃ COOH* | -0,45 | 4,26e-10 | 1,88e-11 | 2,56e-05 | -9,37 | 0,98 | -0,01 | -25,64 |
| CO ₂ * | -0,39 | 3,11e-02 | 1,37e-03 | 1,37e+03 | -1,51 | 1,23 | 0,09 | -7,31 |
| Ca(HCO ₃) ⁺ | -1,15 | 3,80e-01 | 1,67e-02 | 3,84e+04 | -0,42 | 0,64 | -0,20 | -5,46 |
| HCOO ⁻ | -0,38 | 4,23e-07 | 1,86e-08 | 1,90e-02 | -6,37 | 1,86 | 0,27 | -18,10 |
| HCOOH* | -0,43 | 9,85e-11 | 4,34e-12 | 4,53e-06 | -10,01 | 0,87 | -0,06 | -27,23 |
| CH ₄ * | -0,05 | 2,39e-04 | 1,05e-05 | 3,83e+00 | -3,62 | 0,89 | -0,05 | -12,50 |
| CH ₃ OH* | -0,26 | 1,16e-15 | 5,12e-17 | 3,73e-11 | -14,94 | 1,07 | 0,03 | -38,36 |
| CO* | -0,19 | 1,83e-13 | 8,07e-15 | 5,13e-09 | -12,74 | 0,84 | -0,07 | -33,54 |
| HCO ₂ ⁻ | -0,38 | 4,23e-07 | 1,86e-08 | 1,90e-02 | -6,37 | 1,86 | 0,27 | -18,10 |
| H ₂ CO ₂ * | -0,43 | 9,71e-11 | 4,28e-12 | 4,47e-06 | -10,01 | 0,88 | -0,05 | -27,23 |
| OH ⁻ | -0,19 | 8,34e-08 | 3,67e-09 | 1,42e-03 | -7,08 | 2,76 | 0,44 | -19,33 |
| H ⁺ | -0,04 | 4,01e-08 | 1,77e-09 | 4,04e-05 | -7,40 | 0,46 | -0,34 | -21,85 |
| H ₂ O | -0,24 | 5,55e+01 | 2,45e+00 | 1,00e+00 | 1,74 | 1 | 0 | -0,03 |
| газ | | | | | | | | |
| CO ₂ | -0,39 | | 1,69e+00 | 94,3 | 0,23 | 1 | 0 | -0,15 |
| CO | -0,19 | | 2,67e-10 | 0 | -9,57 | 1 | 0 | -22,72 |
| CH ₄ | -0,05 | | 2,50e-01 | 5,08 | -0,60 | 1 | 0 | -2,06 |
| H ₂ O | -0,24 | | 2,72e-02 | 0,62 | -1,57 | 1 | 0 | -4,28 |

параметры газа

| | фугитивность | log фуг. | парц. давл. | log парц. давл. | log коэф. фугит. | коэф. фугит |
|------------------|--------------|-----------|-------------|-----------------|------------------|-------------|
| CO ₂ | 8,59e-01 | -6,59e-02 | 8,59e-01 | -6,59e-02 | 0 | 1 |
| CO | 1,36e-10 | -9,87e+00 | 1,36e-10 | -9,87e+01 | 0 | 1 |
| CH ₄ | 1,27e-01 | -8,96e-01 | 1,27e-01 | -8,96e-01 | 0 | 1 |
| O ₂ | 1,00e-70 | -7,4e+01 | 1,00e-70 | -7,4e+01 | 0 | 1 |
| H ₂ O | 1,38e-02 | -1,86e+00 | 1,38e-02 | -1,86e+00 | 0 | 1 |

Таким образом, концентрационное распределение частиц показали (табл. 1 и 2) возможности связывания формальдегида и муравьиной кислоты в газо-жидкостной среде на основе оксида кальция.

Заключение. Формальдегид и его производные относятся к числу наиболее токсичных загрязнителей атмосферного воздуха. К основным антропогенным источникам поступления формальдегида в воздушную среду относится автомобильный транспорт. Кроме того, формальдегид образуется за счет фотохимических реакций и процессов трансформации органических соединений, загрязняющих атмосферный воздух, таких как метан, метиловый спирт, муравьиная кислота, хлорпроизводные метана. Изучение гетерогенной системы: HCOOH-HCOH-O₂-H₂O и HCOOH-HCOH-O₂-H₂O-CaO при температуре 283,15 К показали эффективное распределение компонентов и частиц в водной среде, и отмечено отсутствие в газовой фазе свободных молекул формальдегида и муравьиной кислоты.

Условные обозначения. A (T,V) – потенциал Гельмгольца; Ср-теплоемкость, Дж; E_h – электродный потенциал, В; f – коэффициент активности; G (T,P) – потенциал Гиббса; G-энергия Гиббса, Дж; g-вес, %; H (S,P) – изобарно-изоэнтروпийный потен

циал; H-энтальпия, Дж; I – ионная сила раствора; pH-водородный показатель; P - давление, Па; S (H, P) – изобарно- изоэнтальпийный потенциал; S (U, V) – изохорно-изоэнергетический потенциал; S –энтропия, Дж/К; T, t, – температура К, °С; U –внутренняя энергия, Дж; U (S,V) – изохорно-изоэнтропийный потенциал; V-объем, м³; ж, г, тв – жидкая, газовая и твердая фаза.

Литература:

1. Дягилев Е.Н., Сальницкая В.В. Изучение некоторых тропических и субтропических растений как фиточистильщиков для очистки газовой среды помещений от формальдегида // Экология России и сопредельных территорий. Новосибирск. 2001. - С. 31-33.
2. Сгибнев А.К. Влияние малых концентраций паров формальдегида на организм человека / А.К. Сгибнев // Гиг.и сан. - 1968. - №7. - С. 20-25.
3. Мелехина В.П. К вопросу о предельно-допустимой концентрации формальдегида в атмосферном воздухе / В.П. Мелехина // Гиг.и сан. - 1958. - №8. - С.10-14.
2. Karpov I.K., Chudnnenko K.V., Kulik D.A., Bychinskii V.A. The convex programming minimization of five thermodynamic potential other than Gibbs energy in geochemical modeling // Amer.J.Sci, 2002. V.302. P.281-311.

Рецензент: д.т.н., профессор Татыбеков А.Т.