

При испытаниях у потребителя загрузку опытного образца наполнителя уменьшили на 50 % и получили пленку, в которой распределение наполнителя аналогично Силтону АК, раскрываемость пленки хорошая. Из пленки получили пакеты. Пленку и пакеты проанализировали по показателям качества. Физико-механические показатели качества пакетов и пленки соответствуют высшему сорту.

Список литературы: 1. SYLOBLOC in Kunststoffen: проспект фирмы GRACE. – 1998. – 20 с. 2. Айлер Р. Химия кремнезема / Р. Айлер; [пер. с английского Л.Т. Журавлева]. – М.: Мир, 1982. – Ч. 2. – 712 с. 3. Кудрявцев Г.В. Структура привитого слоя модифицированных кремнеземов / Г.В. Кудрявцев, С.М. Староверов // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. – 1989. – Т. XXXIV. – 315 с.

Поступила в редколлегию 22.03.10

УДК 661.635.3

А.А. ЧЕРЕМИСИНОВА, аспирант, **П.И. СОРОКА**, докт. техн. наук, **С.А. ВОЛКОВА**, канд. физ.-мат. наук, **В.К. СТЕБА**, канд. техн. наук, **Я.В. СТЕПНЕВСКАЯ**, канд. хим. наук, ГВУЗ «УГХТУ», г. Днепропетровск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЗМА И КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ГЕКСАМЕТАФОСФАТА НАТРИЯ ИЗ ОДНОЗАМЕЩЕННОГО ДВУХВОДНОГО ОРТОФОСФАТА

Методами термогравиметрії, рентгенофазового аналізу, елюєнної іонообмінної хроматографії досліджено хімізм процесу отримання гексаметафосфату натрію шляхом термічної дегідратації $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при нагріванні на повітрі до $700\text{ }^\circ\text{C}$. Запропонована схема перебігу процесу дегідратації $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, розраховані кінетичні параметри кожної стадії процесу та побудована математична модель перебігу процесу. На основі отриманих результатів наведені залежності розподілення концентрацій компонентів у часі та часу повного перетворення від швидкості нагрівання зразка.

By the methods of thermogravimetry, X-ray photography and the method of eluent ion-exchange chromatography there has been investigated the chemism of the process of obtaining sodium hexametaphosphate by thermal dehydration of $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ by heating it in the air to $700\text{ }^\circ\text{C}$. There was offered the scheme of the process of dehydration of $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, kinetic parameters of each stage of the process were calculated and mathematical model of the process was constructed. Basing on the received results there were represented dependences of distribution of concentration of components in time and the time of full transformation from the heating speed.

Ортофосфаты щелочных металлов являются источниками сырья как для производства ряда конденсированных фосфатов так и материалов на их основе. К таким материалам относятся высокотемпературные технологические смазки и антиоксиданты на основе неорганических полимерных фосфатов щелочных металлов с различными добавками, используемые в процессах горячей обработки металлов давлением в температурном интервале 800 – 1200 °С. Производство таких материалов осуществляют путем распыления водных растворов ортофосфатов с мольным отношением $\text{Na}_2\text{O} : \text{P}_2\text{O}_5 = 1,0 - 1,5$ и плотностью 1400 – 1500 кг/м³ в объем реакционной камеры с сушкой и поликонденсацией ортофосфатов при повышенных температурах [1, 2].

Расчет реакционного оборудования для реализации таких процессов методом математического моделирования при системном подходе основан на знании гидродинамики, закономерностей теплопереноса, последовательности химических реакций, протекающих при повышенных температурах, и кинетических закономерностей этих реакций.

Разработке химической схемы превращений, протекающих при высокотемпературной дегидратации однозамещенного двухводного ортофосфата натрия ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), и кинетических закономерностей этих реакций посвящена настоящая работа.

Монофосфат натрия в зависимости от температурных режимов кристаллизации получают как в виде моно- так и дигидратов [3].

Дегидратация $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ изучена в работах [4 – 6]. Показано, что продукт отщепляет молекулу кристаллизационной воды при температуре 100 °С с последующим превращением NaH_2PO_4 в кислый пиррофосфат $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ при 200 – 240 °С и образованием на его основе метафосфата натрия при 300 – 380 °С. При этом, процессы поликонденсации на последних двух стадиях сопровождаются отщеплением по 0,5 молекул воды [7, 8].

По данным [9] превращение NaH_2PO_4 в $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ протекает в температурном интервале 160 – 240 °С и в зависимости от давления водяного пара над образцом, характер дальнейших превращений сопровождается образованием либо соли Мадрелла либо метафосфата натрия [10].

В тоже время процесс термической дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ изучен менее подробно. Так в работе [4] на основе идентификации продуктов дегидратации методом ИК-спектроскопии предложена лишь общая схема процесса. Методом термографии и рентгенографического анализа в условиях неизо-

термического нагрева в воздушной среде до 600 °С, установлено что дегидратация $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ протекает в ряд последовательных стадий по схеме: $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 1,62\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaH}_2\text{PO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{NaPO}_3$.

На первых двух стадиях происходит ступенчатое удаление двух молекул кристаллизационной воды, на третьей стадии при температуре 150 – 230 °С – образование $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$, а на последующих стадиях при 300 – 380 °С образование метафосфата натрия. Были рассчитаны значения некоторых термодинамических и кинетических параметров процесса дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, обработанные методами формальной кинетики, но не были приведены расчеты полученных данных.

В работе [4] методами рентгенофазового, химического анализов и хроматографии на бумаге было предположено образование тринатрийфосфата при температуре 300 – 400 °С.

Противоречивость литературных данных и то, что метод рентгенофазового анализа мало пригоден для анализа смеси полимерных, фосфатов в виду близости межплоскостных расстояний для ряда кристаллических фаз и возможного образований в процессе дегидратации аморфных структур, послужило причиной проведению дополнительных исследований этого процесса.

В настоящей работе для уточнения химической схемы процесса проведено изучение дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в неизотермическом режиме с идентификацией продуктов дегидратации несколькими независимыми методами, рассчитаны кинетические параметры отдельных стадий и на основе математической модели процесса, получены кривые распределения концентраций продуктов дегидратации в зависимости от времени, температуры процесса и скорости нагрева образца.

Однозамещенный ортофосфат натрия дигидрат, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, получали нейтрализацией термической фосфорной кислоты раствором кальцинированной соды до $\text{pH} = 3,5 - 4,0$ с последующей кристаллизацией соли и сушкой ее на воздухе [11]. Препарат отвечал квалификации «чда» по ГОСТ 245-76 [12].

Термограммы записывали на дериватографе системы Paulik в воздушной атмосфере в интервале температур 20 – 1000 °С при скорости нагрева 10 °/мин.

Солевой состав продуктов дегидратации устанавливали методами рентгенофазового анализа и элюентной ионообменной хроматографии.

Рентгенограммы записывали на дифрактометре Дрон-3.0 с использованием $\text{CuK}\alpha$ – излучения. Межплоскостные расстояния на рентгенограммах продуктов дегидрации сравнивали с данными картотеки ASTM.

Хроматографическое разделение фосфатов проводили по методике [13] на анионите IF-23.

Термограмма образца $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ представлена на рис. 1.

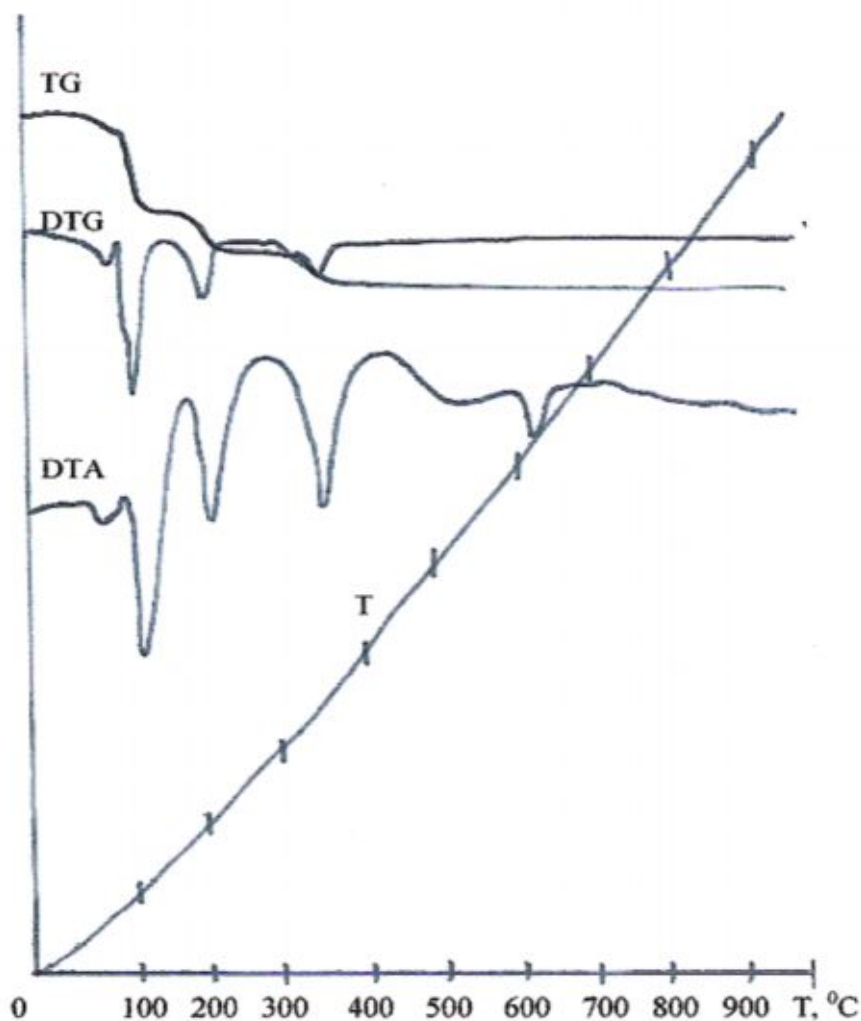


Рис. 1. Дериватограмма $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при скорости нагрева образца 0,17 К/с

Как видно из рис. 1 на кривой дифференциального изменения температур (DTA-кривой) образца регистрируется 6 ярко выраженных эндоэффектов в температурном интервале 40 – 640 °С, а на кривой изменения массы (TG-кривой) три ступени изменения массы образца. Для расшифровки химических превращений, ответственных за каждый из эндоэффектов модельные образцы $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ нагревали в изотермических условиях до постоянной массы при температурах, соответствующих завершению стадии химического

превращения (при $t = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$, $220\text{ }^{\circ}\text{C}$, $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $700\text{ }^{\circ}\text{C}$) с анализом продуктов методами рентгенофазового анализа и элюэнтной ионообменной хроматографии.

Дегидратация в температурном интервале до $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ сопровождается эндоэффектами, соответствующими удалению физически сорбированной влаги из образца, плавлению $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в собственной кристаллизационной воде и потерей кристаллизационной воды. На рентгенограмме модельного образца, термостатированного при $t = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$, зарегистрированы максимумы при $d_{\text{HKL}} = 6,65, 3,83, 3,35$ и $3,20\text{ \AA}$, которые могут быть отнесены к межплоскостным расстояниям NaH_2PO_4 (табл. 1). Методом элюэнтной ионообменной хроматографии зафиксировано присутствие в этом образце фосфатов только в ортоформе.

Таблица 1

Состав продуктов дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ по результатам рентгенофазового анализа и элюэнтной ионообменной хроматографии

№	t, °C	Фазовый состав	Межплоскостные расстояния, d_{HKL} , Å		Процентное содержание каждого типа фосфатов			
			d_{HKL} эксперим	№ карточки ASTM	PO_4^{3-}	$\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$	$\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$	PO_3^-
1	20	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,70 3,05 5,75	10 – 198	99,9	0	0	0
2	130	NaH_2PO_4	3,20 3,35 3,83 6,65	11 – 659	99,9	0	0	0
3	220	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	2,92 3,07 3,42	10 – 192	0,7	98,9	0	0
4	420	$\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$	3,38 3,83 3,02 6,65	11 – 648	0	0,4	0,3	98,9
5	700	$\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$	Аморфная структура		0	0	0	99,7

Дегидратация в температурном интервале 190 – 300 °С с эндоэффектом при $t = 188$ °С сопровождается потерей 0,5 молекул воды и образованием гидропирофосфата натрия, $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Это подтверждают как результаты рентгенофазового анализа с регистрацией на рентгенограмме модельного образца, термообработанного при $t = 220$ °С, максимумов при $d_{\text{HKL}} = 2,92, 3,07, 3,42$ Å, так и результаты ионообменной элюентной хроматографии (табл. 1).

Дегидратация в температурном интервале 300 – 400 °С протекает с эндоэффектом при $t = 342$ °С, удалением 0,5 молекул воды и образованием триметафосфата натрия, $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$. Существенное замедление в удалении влаги в этом процессе авторы работы [14] связывают с образованием плотной корки на поверхности продукта, что препятствует дегидратации. Образование $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$ подтверждается наличием максимумов при $d_{\text{HKL}} = 6,70, 3,42, 3,85$ и $3,07$ Å и результатами хроматографических исследований (табл. 1).

Эндоэффект при температуре 635 °С можно отнести к плавлению триметафосфата и образованию в продуктах кристаллизации расплава гексаметафосфата аморфной структуры. Это подтверждается отсутствием линий кристаллических фаз на фоне аморфного гало на рентгенограмме образца, который термообработан при $t = 700$ °С, и регистрацией только метафосфатов в фракциях элюата, пропущенных через хроматографическую колонку.

На основании результатов термогравиметрических исследований, рентгенофазового анализа и элюентной ионообменной хроматографии предложена химическая схема процесса дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в температурном интервале до 700 °С (табл. 2).

Таблица 2
Химические реакции и кинетические константы термической дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

№	Химические реакции	T, °К	Предэкспоненциальный множитель, k_0, c^{-1}	Энергия активации, E, кДж/моль
1	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{NaH}_2\text{PO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	366	$1,81 \cdot 10^4$	44,990
2	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 = \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	461	63,31	37,460
3	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 = \frac{2}{3} \text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9 + \text{H}_2\text{O}$	615	$6,85 \cdot 10^{11}$	163,520
4	$\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9 = \frac{1}{2} \text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$	908	$617 \cdot 10^{13}$	311,199

Для определения кинетических параметров термической дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в неизотермических условиях дериватограмма подвергалась

математической обработке методами неизотермической кинетики с учетом условия постоянства скорости изменения температуры. Для получения расчетных зависимостей использовали уравнение Аррениуса:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (1)$$

где E – энергия активации, Дж/моль; k_0 – предэкспоненциальный множитель, с^{-1} ; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – температура, К.

Для расчета кажущейся энергии активации и предэкспоненциального множителя [13, 14], являющихся коэффициентами уравнения Аррениуса (1), применена комплексная методика одновременного изучения кривых ТГ, DTG и DTA.

Кажущуюся энергию активации находили по формуле:

$$E = \text{tg}\beta RT_s^2 \quad (2)$$

где T_s – опорная температура, $^{\circ}\text{К}$; $\text{tg}\beta$ – тангенс угла наклона прямой, построенной в координатах $\ln \ln \frac{W_0 - W_K}{W_0 - W_S} = f(\theta)$ (рис. 2).

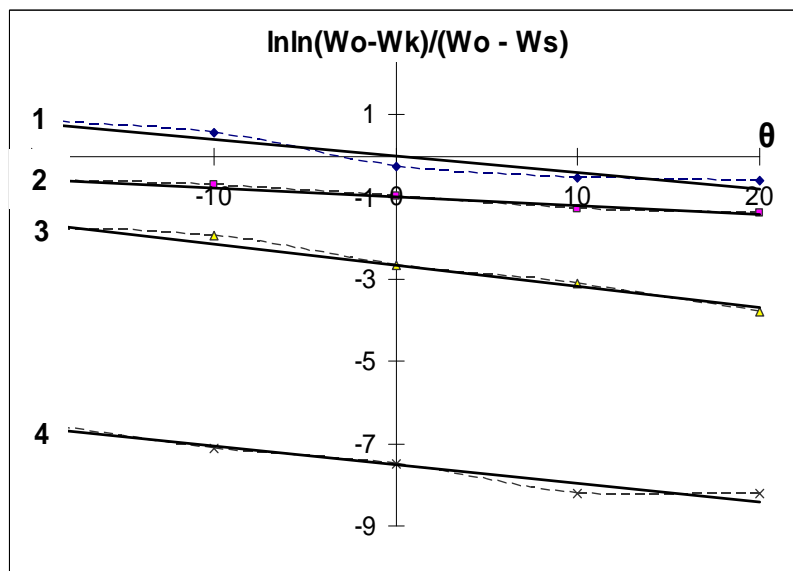


Рис. 2. Зависимость $\ln \ln \frac{W_0 - W_K}{W_0 - W_S}$ от θ для компонентов термообработки $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:

- 1 – $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $T_s = 366 \text{ К}$, 2 – NaH_2PO_4 , $T_s = 461 \text{ К}$,
3 – $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$, $T_s = 615 \text{ К}$, 4 – $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$, $T_s = 908 \text{ К}$

Для построения этой зависимости кривую DTG на дериватограмме делили на параллельные прямые. Точки их пересечения с термогравиметрической кривой позволили установить массу образца в данный момент времени. Значение T_s определяется точкой экстремума на кривой DTG.

Предэкспоненциальный множитель находили из уравнения:

$$1 = \frac{k_0}{g} \frac{RT_s^2}{E} \exp\left(-\frac{E}{RT_s}\right) \quad (3)$$

Выразив k_0 из (3) получили:

$$k_0 = \frac{gE}{RT_s^2 \exp\left(-\frac{E}{RT_s}\right)} \quad (4)$$

Учитывая, что в термогравиметрическом методе скорость нагрева вещества постоянна, и выражая ее как $g = dT/d\tau$, в данных условиях $g = 0,17$ К/с.

Рассчитанные значения E и k_0 представлены в табл. 2.

На основании рассчитанных значений кинетических параметров и составленной схемы протекания процесса (табл. 2), с учетом принятых обозначений (табл. 3), составлена система шести уравнений, из которых четыре дифференциальных (имеется 4 химические реакции) и два алгебраических, составленных на основании уравнений материального баланса. Предположим, что все реакции первого порядка, тогда в соответствии с химическими реакциями и принятыми обозначениями система уравнений, описывающих процесс термической дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, в общем виде запишется следующим образом:

$$\frac{dn_1}{d\tau} = -k_1 n_1 \quad (5)$$

$$\frac{dn_2}{d\tau} = k_1 n_1 - k_2 n_2 \quad (6)$$

$$\frac{dn_3}{d\tau} = \frac{1}{2} k_2 n_2 - k_3 n_3 \quad (7)$$

$$\frac{dn_4}{d\tau} = \frac{2}{3} k_3 n_3 - k_4 n_4 \quad (8)$$

$$n_5 = \frac{1}{6} (n_1^0 - n_1 - n_2 - 2n_3 - 3n_4) \quad (9)$$

$$n_6 = 3n_1^0 - 3n_1 - n_2 - n_3 \quad (10)$$

Таблица 3

Принятые обозначения компонентов

№ п/п	Вещество	Обозначение
1	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	n_1
2	NaH_2PO_4	n_2
3	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	n_3
4	$\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$	n_4
5	$\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$	n_5
6	H_2O	n_6

После подстановки кинетических констант в дифференциальные уравнения и решения системы уравнений (5 – 10) на ЭВМ методом Рунге-Кутты были получены временные характеристики процесса образования гексаметафосфата натрия путем термической дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в неизотермических условиях (рис. 3).

Анализ расчетных данных в виде зависимости распределения концентраций компонентов дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ от времени (рис.3) показал, что для полного образования $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ при скорости нагрева $0,17 \text{ K c}^{-1}$ необходимо время $3,5 \cdot 10^3 \text{ c}$.

Степень превращения $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ (рис. 4) вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{W_0 - W_\tau}{W_0 - W_K} \quad (11)$$

где W_0 – начальная масса образца; W_τ – масса образца при температуре T_τ ; W_K – конечная масса образца.

С целью определения влияния скорости нагрева на время образования гексаметафосфата нами были выполнены кинетические расчеты по разработанной математической модели при изменении скорости нагрева от $0,083$ до $1,67 \text{ K c}^{-1}$.

На рис. 5 представлена зависимость времени полного разложения образца от скорости нагрева.

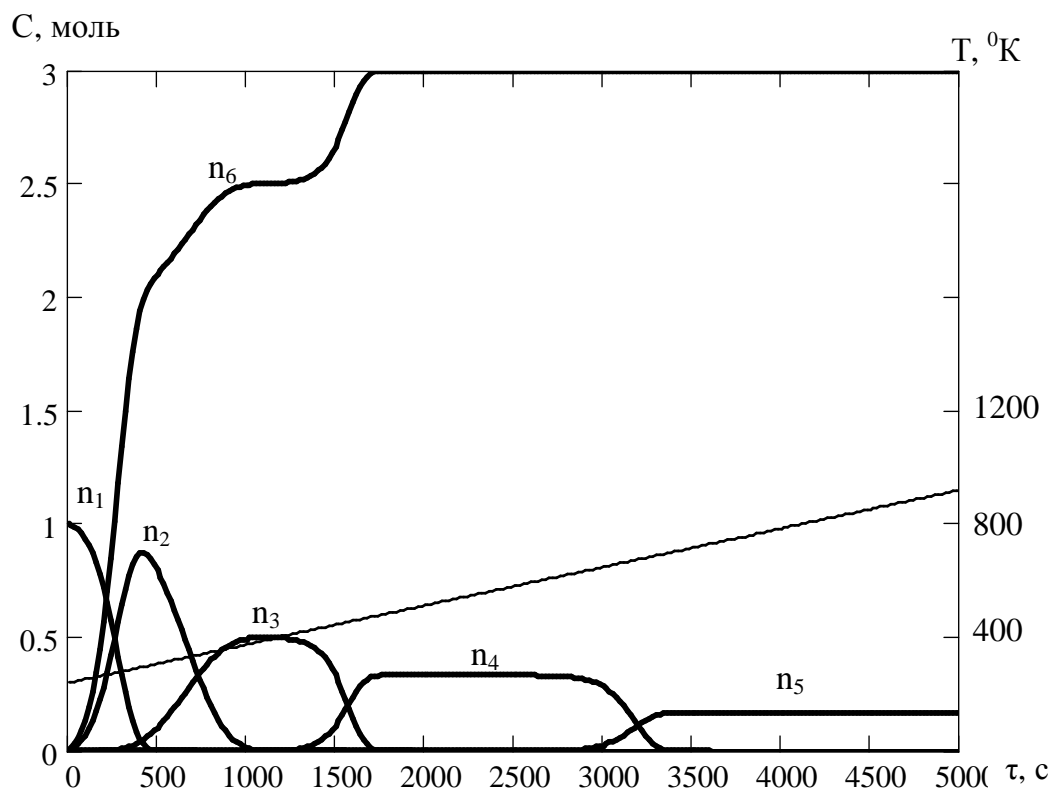


Рис. 3. Распределение концентраций компонентов С (мольные доли) процесса термической дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ во времени τ (с) при скорости нагрева образца $0,17 \text{ K}\cdot\text{c}^{-1}$

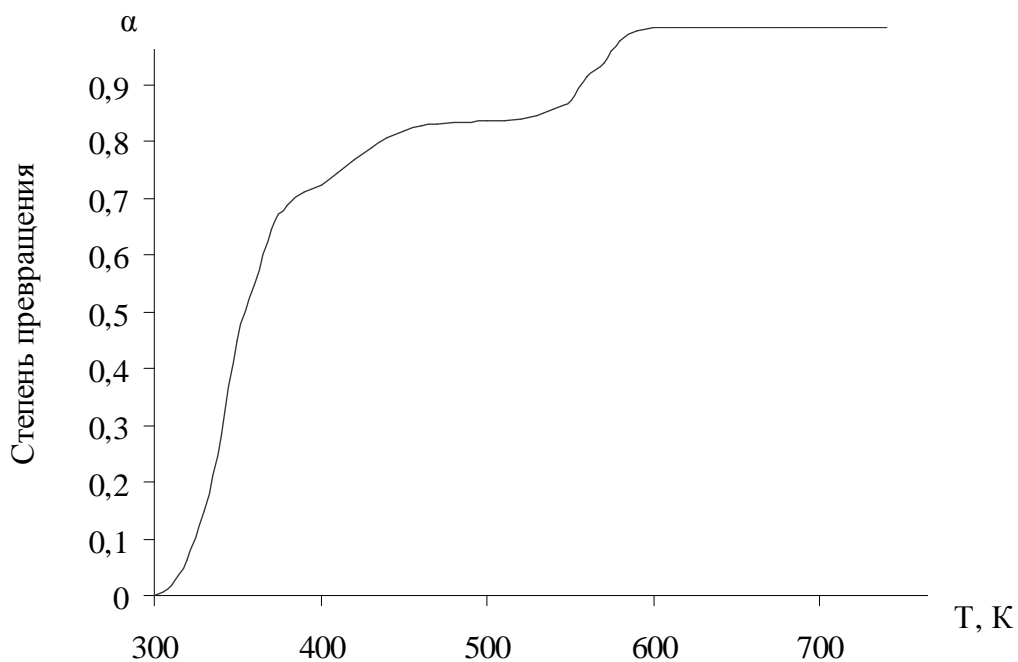


Рис. 4. Зависимость степени превращения гексаметафосфата натрия от температуры

Как видно из рис. 5 с увеличением скорости нагрева образца уменьшает-

ся время, необходимое для образования конечного продукта ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$), от 3500 до 200 секунд.

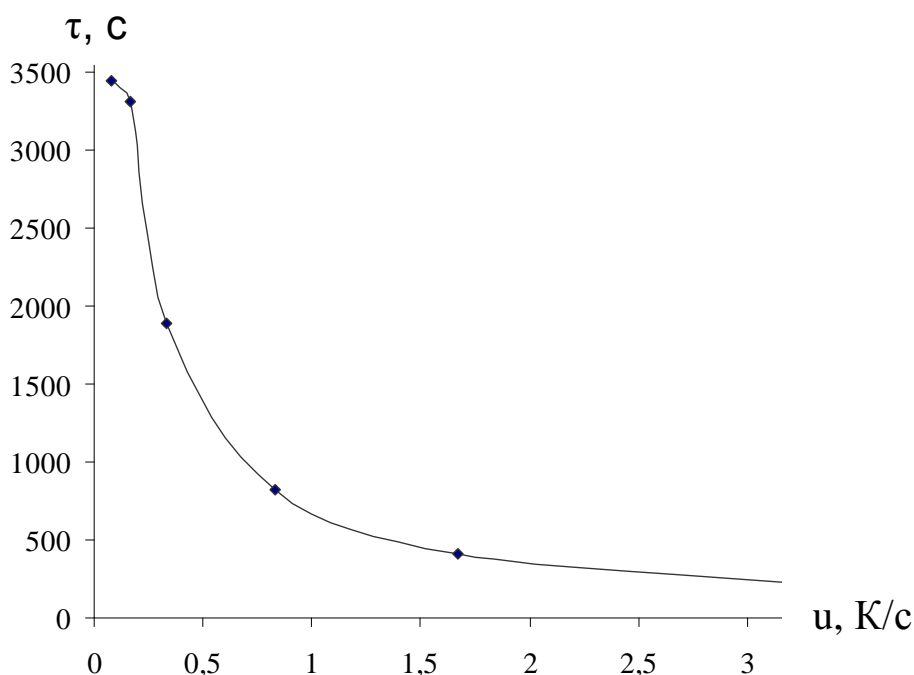


Рис. 5. Зависимость времени τ (с) полного превращения $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ от скорости нагрева u (К/с)

Выводы.

1. Исследован процесс термической дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в изотермических и неизотермических условиях и предложена схема протекания этого процесса.

2. Рассчитаны кинетические параметры каждой стадии процесса.

3. Разработана математическая модель протекания процесса дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

4. Получено распределение концентраций компонентов во времени, рассчитана степень превращения гексаметафосфата в условиях неизотермического нагрева и приведена зависимость времени полного превращения от скорости нагрева образца.

5. Результаты исследований будут использованы при расчете реакционного оборудования производства высокотемпературных технологических смазок на основе метафосфата натрия.

Список литературы: 1. Пат. 83779 Украина, МПК⁷ С 10 М 103/00, С 10 М 125/26. Мастило для гарячої обробки металів тиском та спосіб його одержання / С.П. Панасенко, Г.О. Єсаулов,

Г.М. Польський, В.К. Стеба, С.І. Корольков, О.І. Зеленський, А.В. Чуєв, К.О. Іванов, В.А. Мінін; заявник та патентовласник ЧП НВФ СВК та ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» (Україна). – № 200709266; заявл. 14.08.07; опубл. 11.08.08, Бюл. № 15. **2.** Пат. 86730 Україна, МПК⁷ С 10 М 103/00, С 10 М 169/04. Мастило для гарячої обробки металів тиском / С.П. Панасенко, Г.М. Польський, К.О. Іванов, В.К. Стеба, С. І. Корольков, В.П. Турбар, А.В. Чуєв, О.В. Закопко; заявник та патентовласник ЧП НВФ СВК (Україна). – № 200809414; заявл. 18.07.08; опубл. 12.0.09, Бюл. № 9. **3.** *Wendrow B. / V. Wendrow, K. Kobe* // Chem. Revs. – 1954. – Vol. 54. – P. 891. **4.** *Домбровский Н.Н.* О реакции образования трифосфата при термической дегидратации моно- и динатрийфосфата / *Н.Н. Домбровский* // Журн. Неорганич. Химии. – 1962. – Т. 7. – № 1. – С. 95 – 103. **5.** *Dor L. / L. Dor, I. Felner* // Inorg. Cham. Acta. – 1970. – № 4. – P. 33. **6.** *Нурша Б.М.* Исследование процесса термической дегидратации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ / [Б.М. Нурша, А.А. Факеев, В.К. Труно и др.] // Журн. Неорганич. Химии. – 1980. – Т. 25, № 11. – С. 2922 – 2925. **7.** *Stainbrecher L. / L. Stainbrecher, J. Hazel* // Inorg. Nucl. Chem. Letters. – 1968. – № 4. – P. 559. **8.** *Факеев А.А.* Неорганические продукты для оптических сред / А.А. Факеев, А.И. Рязанов, М.М. Власов. – М.: НИИТЕХИМ, 1977. – 23 с. **9.** *Thilo E. / E. Thilo, H.Grunze* // Z. anorg. allgem. Chem. – 1955. – № 281. – P. 269. **10.** *Moriv G. / G. Moriv*, J.Amer. Chem. Soc. – 1953. – № 75. – P. 5794. **11.** *Карякин Ю.В.* Чистые химические вещества / Ю.В. Карякин, И.И. Ангелов. – М.: Химия, 1974. – 408 с. **12.** Реактивы. Натрий фосфорнокислый однозамещенный 2-водный. Технические условия: ГОСТ 245-76. [Действителен от 1977-07-01]. – М.: Изд.-во стандартов, 1976. – 10 с. **13.** *Черемисинова А.О.* Розробка методики визначення кількісного складу високотемпературних технологічних мастил на основі неорганічних полімерних фосфатів методом елюентної іонообмінної хроматографії / [А.О. Черемисинова, Я.В. Степаневськ, В.К. Стеба, П.Г. Сорока] // Вопросы химии и химической технологии. – 2009. – № 6. – С. 100 – 103. **14.** *Armellede S. / S. Armellede, D. Pierre* // Compt rend. – 1972. – № 275. – Vol. 25. – P. 1463. **15.** *Пархоменко В.Д.* Получение ферритовых порошков в потоках высокотемпературных теплоносителей / [В.Д. Пархоменко, П.И. Сорока, Л.А. Голубков, П.В. Лунатов]. – К.: Наук. думка, 1988. – 152 с. **16.** *Horwitz Н.Н. / Н.Н. Horwitz, G. Metzger* // Anal. Chem. – 1963. – № 10, Vol. 35. – P. 1464.

Поступила в редколлегию 22.03.10