

*Р.Р. АБДРЕИМОВА, В.Н. СТАЦЮК, А.А. КАРИМОВА, Г.С. ПОЛИМБЕТОВА*

(АО «Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», г. Алматы)

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ КАТАЛИЗАТОРА ОКИСЛИТЕЛЬНОГО АЛКОГОЛИЗА БЕЛОГО ФОСФОРА**

*Посвящается 75 годовщине рождения проф. Я.А. Дорфмана (1938-1996)*

### **Аннотация**

Исследован процесс окислительного алкоголиза белого фосфора с электрохимической регенерацией медного катализатора.

**Ключевые слова:** катализатор, регенерация, электрокаталитический синтез, окислительный алкоголиз, фосфор.

**Кілт сөздер:** катализатор, регенерация, электрокатализдік синтез, тотықтырғыш алкоголиз, фосфор.

**Key words:** catalyst, regeneration, **electrocatalytic synthesis**, oxidative alcoholysis, phosphorus.

В качестве окислителей белого фосфора ( $P_4$ ) в реакциях получения эфиров фосфористой и фосфорной кислот в присутствии катализаторов на основе соединений меди (II) применялись кислород [1, 2], перекись водорода [3], органические пероксиды [4], тетрахлорметан [5, 6], способные реокислить восстановленную форму этих соединений и вернуть их в каталитический цикл. В данной работе регенерацию медного катализатора мы осуществляли путем электролиза. Метод электрохимической стабилизации металлокомплексных катализаторов переменной валентности, развитый Д. В. Сокольским и Я.А. Дорфманом [7], заключается в навязывании гомогенному катализатору необходимого окислительно-восстановительного потенциала при помощи внешнего источника тока. Важным достоинством электрохимической регенерации катализатора является упрощение реакционной системы, уменьшение количества отходов и увеличение выхода целевого продукта. Известно, что при использовании окислителя  $O_2$  образуется вода, которая зачастую отравляет катализатор или стимулирует побочные реакции. Во избежание подобных нежелательных процессов, вместо ввода в реакцию окислителей ( $O_2$ ,  $Cl_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O_2$  и др.) или восстановителей ( $H_2$ ,  $N_2H_4$  и др.) катализатор может быть помещен либо в анодное, либо в катодное пространство электролизера, где осуществляется “безреагентная” регенерация катализатора. Целью настоящей работы было определение кинетических и термодинамических параметров, а также механизма электрокаталитического процесса окислительного алкоголиза белого фосфора.

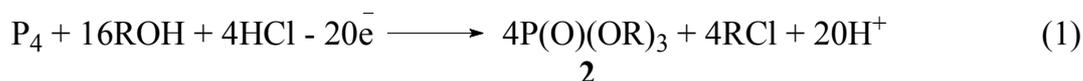
### **Экспериментальная часть**

Электрокаталитический синтез эфиров кислот фосфора из белого фосфора и спиртов проводили при 40-80°C в трехэлектродной ячейке из стекла “пирекс” с разделенным

катодным и анодным пространством при перемешивании магнитной мешалкой в атмосфере аргона. Объем электролита был равен 10 мл. Редокс-потенциал пары  $\text{Cu}^{\text{II}}/\text{Cu}^{\text{I}}$  ( $E$ , мВ) измеряли платиновым электродом относительно насыщенного хлорсеребряного электрода. Анодом служила платиновая сетка с развитой поверхностью. Концентрации  $\text{CuCl}_2$  и  $\text{P}_4$  изменяли в интервале  $(0,4 \div 2,0) \cdot 10^{-1}$  и  $10^{-3} \div 10^{-2}$  М, соответственно. Ионную силу  $\mu = 0,1 \div 0,5$  поддерживали при помощи  $\text{LiClO}_4$  и  $\text{NaClO}_4$ . Величину тока поддерживали постоянной в диапазоне  $2 \div 6$  мА. Тетрафосфор вводили в ячейку в виде спиртового раствора. Количественный анализ фосфорорганических соединений проводили методом газовой хроматографии (хроматограф Модель 3700). Спирты предварительно очищали и осушали по общепринятым методикам [8]. Аргон осушали, пропуская через хлорид кальция. Катализатор  $\text{CuCl}_2$  осушали при  $80\text{-}100^\circ\text{C}$  до постоянного веса.

### Результаты и их обсуждение

Установлено, что в анодном пространстве диафрагменной ячейки с платиновыми электродами в спиртовом растворе  $\text{CuCl}_2$  белый фосфор легко окисляется до смеси эфиров фосфора – диалкилфосфита  $\text{P}(\text{O})\text{H}(\text{OR})_2$  **1**, триалкилфосфата  $\text{P}(\text{O})(\text{OR})_3$  **2**, а в ряде экспериментов наблюдается также образование следового количества промежуточного триалкилфосфита  $\text{P}(\text{OR})_3$ . Основным продуктом, выход которого достигает 60-80%, является триалкилфосфат **2**:



Кинетические и термодинамические закономерности, механизм электрокаталитического синтеза эфиров кислот фосфора из  $\text{P}_4$  изучали путем исследования поведения системы  $\text{CuCl}_2\text{-P}_4\text{-ROH-LiCl-LiClO}_4$  в отсутствие и в присутствии тока. При перемешивании в анодной части ячейки спиртовых ( $\text{BuOH}$ ) растворов  $\text{CuCl}_2$  (0,01 М) и  $\text{LiCl}$  (0,2 М) при  $60^\circ\text{C}$  в атмосфере аргона образуется прозрачный светло-зеленый раствор с начальным потенциалом  $E_{\text{н}} = 310$  мВ. После добавления в ячейку спиртового раствора  $\text{P}_4$  ( $1,6 \cdot 10^{-3}$  М) при разомкнутой электрической цепи происходит быстрое восстановление  $\text{CuCl}_2$  фосфором (процесс № 1), раствор темнеет и появляется обильный темно-коричневый осадок меди с примесью  $\text{CuCl}$ . Редокс-потенциал пары  $\text{Cu}^{\text{II}}/\text{Cu}^{\text{I}}$  при введении  $\text{P}_4$  резко смещается в область более отрицательных потенциалов, а затем потенциал постепенно достигает постоянного значения  $E_{\text{к}} = 218$  мВ к 50 мин (Рис. 1, кривая 1).

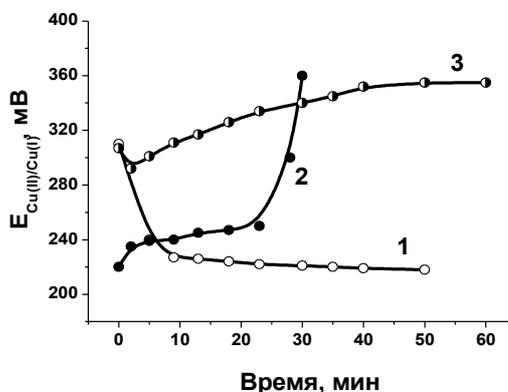


Рисунок 1 – Изменение потенциала каталитического раствора 0,01 М  $\text{CuCl}_2$ , 0,2 М  $\text{LiCl}$ , 10 мл  $\text{BuOH}$  при проведении следующих процессов при  $60^\circ\text{C}$  в атмосфере аргона:

1 - стехиометрическое восстановление  $\text{CuCl}_2$  до  $\text{CuCl}$  белым фосфором ( $[\text{P}_4] = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ ) при разомкнутой электрической цепи; 2 - электроокисление  $\text{CuCl}$  до  $\text{CuCl}_2$  на платиновом аноде при силе тока 2 мА;

3 - одновременное восстановление  $\text{CuCl}_2$  до  $\text{CuCl}$  белым фосфором ( $[\text{P}_4] = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ ) и электроокисление  $\text{CuCl}$  до  $\text{CuCl}_2$  на аноде при силе тока 2 мА при замкнутой электрической цепи

Хроматографический анализ раствора над осадком показал образование дибутилфосфита  $\text{P}(\text{O})\text{H}(\text{OBU})_2$  **1** (16%) и трибутилфосфата  $\text{P}(\text{O})(\text{OBU})_3$  **2** (28%) (Табл. 1, опыт 1). В ходе опыта наблюдалось также промежуточное формирование небольшого количества трибутилфосфита  $\text{P}(\text{OBU})_3$ .

После окончания процесса химического восстановления  $\text{CuCl}_2$  замыкали электрическую цепь и проводили анодное окисление  $\text{CuCl}$  при токе 2 мА (процесс № 2). В ходе электролиза осадок светлел, его количество уменьшалось, к 25 мин осадок исчезал, раствор в ячейке был сначала бесцветным, а к 30 мин приобрел первоначальный светло-зеленый цвет. Потенциал пары  $\text{Cu}^{\text{II}}/\text{Cu}^{\text{I}}$  сначала медленно смещался в сторону более положительных потенциалов, проходил через плато, а затем быстро возрастал до финального значения 360 мВ (Рис. 1, кривая 2). Хроматографический анализ раствора показал формирование дибутилфосфита **1** (23%) и трибутилфосфата  $\text{P}(\text{O})(\text{OBU})_3$  **2** (55%) (Табл. 1, опыт 2).

Процесс окислительного алкоголиза  $\text{P}_4$  с электрохимической регенерацией катализатора можно проводить не только по вышеописанной периодической методике, но и непрерывным способом. При введении  $\text{P}_4$  в каталитический раствор при замкнутой электрической цепи происходит одновременное восстановление  $\text{CuCl}_2$  до  $\text{CuCl}$  белым фосфором и электроокисление  $\text{CuCl}$  до  $\text{CuCl}_2$  на аноде (процесс № 3). Потенциометрическая кривая при этом характеризуется небольшим минимумом в начале процесса, затем потенциал пары  $\text{Cu}^{\text{II}}/\text{Cu}^{\text{I}}$  в течение 60 мин постепенно смещается в область более положительных потенциалов до постоянного значения 355 мВ (Рис. 1, кривая 3). Хроматографический анализ раствора показал образование дибутилфосфита **1** (24%) и трибутилфосфата  $\text{P}(\text{O})(\text{OBU})_3$  **2** (50%) (Табл. 1, опыт 3).

Таблица 1 – Электрохимический синтез эфиров кислот фосфора из  $\text{P}_4$  и спиртов в присутствии  $\text{CuCl}_2$

№ опыта	№ процесса	$\text{CuCl}_2 \cdot 10^2$ (M)	$\text{P}_4 \cdot 10^3$ (M)	Фон (M)	T (°C)	Время (мин)	<b>1</b> (%)	<b>2</b> (%)
1	1	1	1,6	LiCl (0,2)	60	50	16	28
2	2	1	1,6	LiCl (0,2)	60	30	23	55

3	3	1	1,6	LiCl (0,2)	60	60	24	50
4	2	1	1,6	LiCl (0,2)	70	60	40	52
5	2	1	1,6	LiCl (0,2)	80	40	13	80
6	2	1	0,8	LiCl (0,2)	60	50	34	61
7	2	4	1,6	LiClO <sub>4</sub> (0,1)	70	40	20	78
8	2	1	2,2	NaClO <sub>4</sub> (0,1)	60	70	15	45
9	3	1	2,2	NaClO <sub>4</sub> (0,1)	60	50	21	54

Условия: атмосфера аргона; ROH 10 мл; I = 2 мА. Опыты 1-8: R = Bu, опыты 8, 9: R = Et. Выход продуктов определен методом газовой хроматографии: **1** = диалкилфосфит P(O)H(OR)<sub>2</sub>, **2** = триалкилфосфат P(O)(OR)<sub>3</sub>.

Процесс 1 - стехиометрическое восстановление CuCl<sub>2</sub> до CuCl белым фосфором в спирте при разомкнутой электрической цепи;

Процесс 2 - анодное окисление CuCl до CuCl<sub>2</sub> после окончания процесса 1;

Процесс 3 - одновременное стехиометрическое восстановление CuCl<sub>2</sub> до CuCl белым фосфором в спирте и анодное окисление CuCl до CuCl<sub>2</sub> при замкнутой электрической цепи.

Скорость смещения потенциала, величина ΔE и выход фосфорорганических продуктов возрастают с повышением температуры до 70 и 80°C (Табл. 1, опыты 4, 5). При увеличении молярного отношения CuCl<sub>2</sub>/P<sub>4</sub> величина ΔE при восстановлении CuCl<sub>2</sub> уменьшается, осадок светлеет и облегчается стадия последующей электрохимической регенерации катализатора (Табл. 1, опыты 6, 7). Найденные закономерности соблюдаются и в среде этилового спирта (Табл. 1, опыты 8, 9). На основании полученных результатов сделали вывод о том, что процесс электрокаталитического синтеза (1) осуществляется путем чередования (i) объемной стехиометрической реакции восстановления CuCl<sub>2</sub> белым фосфором в спирте до меди с образованием фосфорорганических продуктов **1** и **2**, (ii) реакции окисления Cu дихлоридом меди до CuCl и (iii) электрохимической реакции окисления CuCl на аноде (рис. 2).

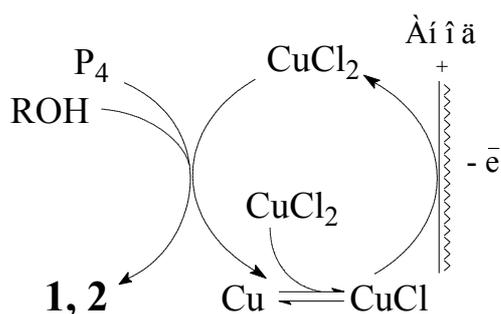


Рисунок 2 –Схема предполагаемого механизма окислительного алкоголиза белого фосфора

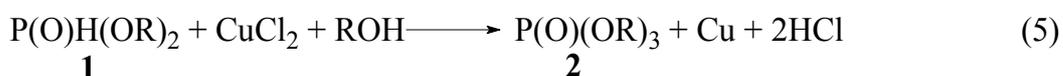
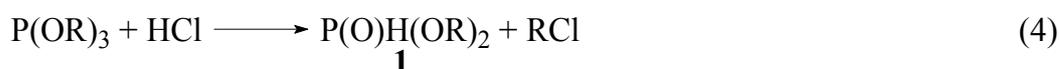
с электрохимической регенерацией медного катализатора

Формальным окислителем белого фосфора в уравнении (1) является электрический ток, но молекула  $P_4$  не взаимодействует непосредственно с анодом, а передает ему электроны через катализатор-переносчик электронов -  $CuCl_2$ . Подобные процессы с участием катализаторов-переносчиков заряда основаны на том, что катализаторы, обратимо восстанавливаясь (или окисляясь) в растворе, окисляют (или восстанавливают) органические или неорганические субстраты [9].

**Стехиометрическое восстановление  $CuCl_2$  до  $CuCl$  белым фосфором в спирте.** Процесс образования основного продукта **2** выражается следующей брутто-реакцией:



Учитывая склонность  $P_4$  и  $CuCl_2$  к двухэлектронным редокс-реакциям, мы полагаем, что уравнение (2) складывается из нескольких нижеследующих уравнений. Первым продуктом окисления  $P_4$  дихлоридом меди в спирте является промежуточный триалкилфосфит (3), который в присутствии кислоты, генерированной *in situ*, легко деалкилируется до диалкилфосфита **1** по уравнению (4) [10]. Триалкилфосфат **2** формируется в результате восстановления  $CuCl_2$  диалкилфосфитом в спирте (5) [11].



В объеме ячейки протекает также обратимая реакция репропорционирования - окисления выделяющейся элементной меди дихлоридом меди:



реакции окисления  $P_4$  до  $P(OR)_3$  соединениями  $Cu(II)$  в алифатических спиртах (3) подробно изучен ранее и представлен нами в работе [2]. Для определения ядерности комплексов меди в растворах  $CuCl_2$  в бутаноле процесс 1 исследовали при разных концентрациях хлоридов лития и меди (II). Постоянную ионную силу раствора  $\mu = 0,5$

поддерживали с помощью  $\text{LiClO}_4$ . Найдено, что при изменении концентраций  $\text{CuCl}_2$  в диапазоне  $(4 \div 10,8) \cdot 10^{-2}$  М и  $\text{LiCl}$   $(0 \div 0,5)$  М восстановление  $\text{CuCl}_2$  белым фосфором в бутиловом спирте при  $50^\circ\text{C}$  протекает за 25-55 мин. Потенциометрические кривые после первоначального резкого смещения ( $\Delta E$ ) в область более отрицательных потенциалов достигают постоянных значений  $E_k$ , представленных в Табл. 2.

Таблица 2 – Влияние концентраций хлоридов лития и меди (II) на конечный потенциал восстановления  $\text{CuCl}_2$  белым фосфором в бутаноле

$\text{CuCl}_2$ $\cdot 10^2$ (М)	$E_k$ (мВ)					
	0,5 М $\text{LiClO}_4$	0,1 М $\text{LiCl}$ , 0,4 М $\text{LiClO}_4$	0,2 М $\text{LiCl}$ , 0,3 М $\text{LiClO}_4$	0,3 М $\text{LiCl}$ , 0,2 М $\text{LiClO}_4$	0,4 М $\text{LiCl}$ , 0,1 М $\text{LiClO}_4$	0,5 М $\text{LiCl}$
4,0	587 ±2	582 ±1	573 ±2	565 ±1	555 ±2	548 ±3
4,9	596 ±1	590 ±2	583 ±2	575 ±1	563 ±2	555 ±1
6,65	608 ±3	602 ±2	594 ±1	588 ±2	575 ±1	565 ±1
8,35	615 ±1	608 ±1	602 ±2	595 ±1	582 ±2	573 ±2
10,8	623 ±2	616 ±1	610 ±2	602 ±1	592 ±2	580 ±1

Условия:  $50^\circ\text{C}$ ; атмосфера аргона;  $\text{BuOH}$  10 мл;  $\mu = 0,5$ ;  $[\text{P}_4] = 1,05 \cdot 10^{-3}$  М;  $[\text{Cu}^+] = 2,1 \cdot 10^{-2}$  М.

Найдено, что кинетические кривые стехиометрического восстановления  $\text{CuCl}_2$  белым фосфором при  $[\text{Cl}^-] = \text{const}$  линеаризуются в координатах  $E_k - \lg \text{Cu}^{\text{II}}/\text{Cu}^{\text{I}}$  с наклоном, равным 62 мВ (рис. 2).

Это свидетельствует о доминировании моноядерных комплексов меди (II) и меди (I) в спиртовой среде. Графическим решением зависимостей  $\lg C_{\text{P}_4}$  от времени восстановления  $\text{CuCl}_2$  рассчитали значения констант скорости первого порядка  $k_v$ , равные  $1,8 \cdot 10^{-2}$  и  $5,3 \cdot 10^{-2}$   $\text{мин}^{-1}$  при  $40$  и  $60^\circ\text{C}$ . Энергия и энтропия активации реакции восстановления  $\text{CuCl}_2$  белым фосфором составляют 46 кДж/моль и  $-109$  Дж/моль·К, соответственно.

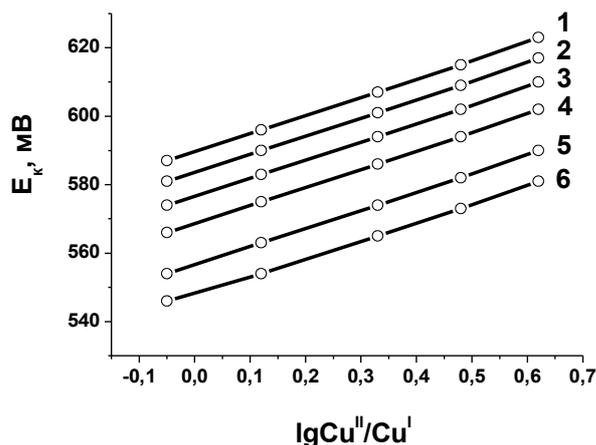


Рисунок 2 – Изменение конечного потенциала платинового электрода в зависимости от  $\lg\text{Cu}^{\text{II}}/\text{Cu}^{\text{I}}$

при химическом восстановлении  $\text{CuCl}_2$  до  $\text{CuCl}$  белым фосфором ( $[\text{P}_4] = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ ) при различных концентрациях  $\text{LiCl}$  (M): 1 – 0; 2 – 0,1; 3 – 0,2; 4 – 0,3; 5 – 0,4; 6 – 0,5

**Анодное окисление  $\text{CuCl}$  до  $\text{CuCl}_2$ .** При включении тока после завершения процесса 1 хлорид меди легко окисляется на платиновом аноде до полной регенерации катализатора:



Процесс (7) проводили при малой силе тока 2-6 мА, чтобы не допустить восстановления спирта на катоде и окисления хлорид-ионов на аноде. После регенерации катализатора в ячейку вводили новую порцию спиртового раствора  $\text{P}_4$ . Если молярное отношение  $\text{CuCl}_2/\text{P}_4 \geq 20$ , то вся навеска  $\text{P}_4$  окисляется до  $\text{P}(\text{O})(\text{OR})_3$  за один цикл, в противном случае полная конверсия  $\text{P}_4$  достигается за несколько циклов восстановления  $\text{Cu}(\text{II})$  до  $\text{Cu}(\text{I})$  тетрафосфором и электроокисления  $\text{Cu}(\text{I})$  до  $\text{Cu}(\text{II})$ . Прохождение кривой 2 (Рис. 1) через плато свидетельствует о том, что на этом участке скорости реакций восстановления  $\text{CuCl}_2$  остаточным фосфором и анодного окисления  $\text{CuCl}$  равны. В оптимальных условиях выходы фосфорорганических продуктов по току и на вступивший в реакцию  $\text{P}_4$  близки к 100%.

**Одновременное протекание восстановления  $\text{CuCl}_2$  до  $\text{CuCl}$  белым фосфором в спирте и анодного окисления  $\text{CuCl}$  до  $\text{CuCl}_2$  при замкнутой электрической цепи.** Как видно из Рис. 1, даже при включенном токе потенциал пары  $\text{Cu}^{\text{II}}/\text{Cu}^{\text{I}}$  на кривой 3 первые минуты смещается в сторону более отрицательных потенциалов из-за высокой скорости реакции восстановления  $\text{CuCl}_2$  белым фосфором. По мере конверсии  $\text{P}_4$  скорость анодного окисления  $\text{CuCl}$  начинает превалировать и потенциал пары  $\text{Cu}^{\text{II}}/\text{Cu}^{\text{I}}$  сдвигается в обратную сторону. В принципе, при подборе оптимальных значений концентраций реагентов, плотности тока, ионной силы и др. скорости химической (2) и электрохимической (7)

реакций будут равны, а общий процесс (1) будет осуществляться в непрерывном режиме при постоянном потенциале.

Таким образом, путем совмещения химических и электрохимических процессов в трехэлектродной ячейке показана принципиальная возможность осуществления непрямого электросинтеза эфиров фосфорной и фосфористой кислот из белого фосфора в спиртовых растворах дихлорида меди. Показано, что  $\text{CuCl}_2$  является переносчиком электронов с  $\text{P}_4$  на платиновый анод. Для стадии химического восстановления  $\text{CuCl}_2$  белым фосфором в спирте рассчитаны кинетические и термодинамические параметры.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Дорфман Я.А., Абдреимова Р.Р. // ЖОХ. 1993. Т. 63. № 2. С.289.
- 2 Abdreimova R. R., Faizova F. Kh., Karimova A.A. // Eurasian Chemico-Technological J. 2010. Vol. 12. No. 3-4. P. 267.
- 3 Trofimov B., Timokhin B., Gusarova N., Kazantseva M., Golubin A. // Phosph., Sulf. and Silic. 2002. Vol. 177. P. 2385.
- 4 Akbayeva D. N., Faisova F.Kh., Abdreimova R. R., Peruzzini M. // J. Molec. Catal. 2007. Vol. 267. P. 181.
- 5 Алиев М. Б., Фаизова Ф. Х., Полимбетова Г. С., Абдреимова Р. Р. // Доклады НАН РК. 2004. № 4, С. 62.
- 6 Абдреимова Р. Р., Фаизова Ф. Х., Борангазиева А. К. // Изв. НАН РК. Сер. хим. 2007. № 4. С. 35.
- 7 Дорфман Я. А., Сокольский Д. В. // Докл. АН СССР. 1966. Т. 167. С. 102.
- 8 Гордон А., Форд Р. Спутник химика. М.: Мир, 1979. 541 с.
- 9 Моисеев И.И. // Кин. кат. 2001. Т.42. № 1. С. 5.
- 10 Fakhraian H., Mirzaei A. // Org. Proc. Res. Develop. 2004. Vol. 8. P. 401.
- 11 Okamoto Y., Kusano T., Takamuku S. // Bull. Chem. Soc. Jpn. 1988. Vol. 61. P. 3359.

## REFERENCES

- 1 Dorfman Ya.A., Abdreimova R.R., *Zh. Obshz. Khim.*, **1993**, 63, 289 (in Russ.).
- 2 Abdreimova R.R., Faizova F.Kh., Karimova A.A., *Eurasian Chemico-Technological J.*, **2010**, 12. No. 3-4, 267(in Eng.).
- 3 Trofimov B., Timokhin B., Gusarova N., Kazantseva M., Golubin A., *Phosph., Sulf. and Silic.*, **2002**, 177, 2385 (in Eng.).
- 4 Akbayeva D. N., Faisova F.Kh., Abdreimova R. R., Peruzzini M., *J. Molec. Catal.*, **2007**, 267, 181 (in Eng.).
- 5 Aliev M.B., Faizova F.Kh., Polimbetova G.S., Abdreimova R. R., *Dokl. NAN RK*, **2004**, 4, 62 (in Russ.).
- 6 Abdreimova R.R., Faizova F.Kh., Borangazieva A.K., *Izv. NAN RK. Ser. Khim.*, **2007**, 4, 35 (in Russ.).
- 7 Dorfman Ya.A., Sokolsky D.V., *Dokl. AN SSSR*, **1966**, 167, 102 (in Russ.).
- 8 Gordon A., Ford R. *Sputnik khimika. Moskva: Mir*, **1979**, 541 (in Russ.).
- 9 Moiseev I. I., *Kin. kat.*, **2001**, 42, No.1, 5 (in Russ.).
- 10 Fakhraian H., Mirzaei A., *Org. Proc. Res. Develop.*, **2004**, 8, 401(in Eng.).
- 11 Okamoto Y., Kusano T., Takamuku S., *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **1988**, 61, 3359 (in Eng.).

## Резюме

*Р.Р. Әбдірейімова, В.Н. Стацюк, А.А. Каримова, Г.С. Польшбетова*

(«Д.В. Сокольский атындағы Органикалақ катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы қ.)

### АҚ ФОСФОРДЫҢ ТОТЫҒУ АЛКОГОЛИЗИ КАТАЛИЗАТОРЫНЫҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАЛПЫНА КЕЛУІ

Мыс катализаторының электрохимиялық қалпына келуімен ақ фосфордың тотығу алкоголиз үдерісі зерттелді.

**Кілт сөздер:** катализатор, регенерация, электрокатализдік синтез, тотықтырғыш алкоголиз, фосфор.

## Summary

*R.R. Abdreimova, V.N. Statzuk, A.A. Karimova, G.S. Polimbetova*

(JSC “D.V. Sokolsky Institute of Organic Catalysis and Electrochemistry”, Almaty)

### ELECTROCHEMICAL REGENERATION OF THE OXIDATIVE ALCOHOLYSIS OF WHITE PHOSPHORUS CATALYST

The process of oxidative alcoholysis of white phosphorus with electrochemical regeneration of the copper catalyst has been explored.

**Keywords:** catalyst, regeneration, **electrocatalytic synthesis**, oxidative alcoholysis, phosphorus.

*Поступила 16.02.2013 г.*