

УДК 661.833

О. Б. Дормешкин, А. Н. Гаврилюк, Г. Х. Черчес
Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПРИСУТСТВИИ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ

Изложены физико-химические особенности процессов, протекающих при получении магнийсодержащих комплексных удобрений на основе многокомпонентных систем, образующихся при кислотной переработке Ковдорского апатитового концентрата и различных видов магнийсодержащего сырья, с последующей нейтрализацией избыточных кислот и введением азот-, калий- и магнийсодержащих компонентов. Установлено влияние основных технологических параметров на совместное разложение фосфатного сырья и технического продукта – доломита. В итоге получают магнийсодержащие комплексные удобрения с заданными химическими и физическими свойствами и содержанием магния (не более 5 мас. %).

Получен комплекс данных о реологических свойствах фосфорнокислых суспензий, образующихся на различных стадиях при получении комплексных магнийсодержащих удобрений на основе нескольких видов магнийсодержащего сырья, что позволило обосновать оптимальные условия и способы введения магний-, азот- и калийсодержащих компонентов в технологический процесс. Изучены физико-химические основы и установлен химизм процессов, протекающих при получении комплексных магнийсодержащих удобрений на основе кислотного разложения фосфатного сырья и/или доломита с последующим введением карбамида, нейтрализацией газообразным аммиаком, добавлением сульфата магния и хлористого калия.

Разработана гибкая ресурсосберегающая технология получения комплексных магнийсодержащих удобрений, обеспечивающая производство концентрированных удобрений пролонгированного действия с улучшенными физическими свойствами.

Ключевые слова: магнийсодержащие удобрения, комплексные удобрения, фазовый состав, фосфатное сырье, магний, серная кислота, разложение, нейтрализация.

O. B. Dormeshkin, A. N. Hauryliuk, G. Kh. Cherches
Belarusian State Technological University

RESEARCHES OF PHYSICAL AND CHEMICAL FEATURES OF PROCESSES OF COMPLEX FERTILIZERS PRODUCING IN THE PRESENCE OF MAGNESIUM CONTAINING COMPONENTS

The physicochemical laws of the producing of magnesium-containing compound fertilizers based on superphosphate production and ammonium phosphate with the involvement of the Kovdorsky apatite concentrate and various types of magnesium-containing raw materials are described. The influence of the main technological parameters and the optimal conditions for combined decomposition of phosphate raw materials and technical product – dolomite, providing the producing of magnesium-containing fertilizers with specified chemical and physical properties with a content of magnesium (not more than 5 wt. %) are determined.

New scientific facts about the rheological properties of phosphate suspensions, intermediate and end products, produced at different stages in the suspension of complex magnesium fertilizers based on various types of magnesium containing raw materials are received. It allows the researches to define the optimal conditions and the ways of introduction of magnesium, nitrogen and potassium containing components in the technological process. The physical and chemical mechanisms are examined. The chemical transformations activity at various stages producing of complex magnesium-containing fertilizers based on magnesium digestion of phosphate raw material and/or dolomite followed by carbamide introduction, gaseous ammonia neutralization, and the addition of magnesium sulfate and potassium chloride is defined.

The presented data formed the basis for developing a flexible resource-saving technology of the complex magnesium-containing fertilizers obtainment that provides the diversification possibilities, the obtainment of concentrated long-acting fertilizers with improved physical properties.

Key words: magnesium-containing fertilizers, complex fertilizers, phase mixture, phosphate raw material, magnesium, sulfuric acid, decomposition, neutralization.

Введение. Одной из устойчивых мировых тенденций в производстве минеральных удобрений в последнее время является увеличение объемов производства и потребления комплексных магнийсодержащих удобрений. Возрастание применения высококонцентрированных удобрений, повышение урожайности сельскохозяйственных культур и связанное с этим увеличение выноса питательных элементов, включая магний, делают задачу компенсации потерь магния все более актуальной.

Магнийсодержащие удобрения оказывают положительное действие на фоне NPK как на величину урожая, так и на его качество. На основании многочисленных агрохимических исследований доказано, что для открытого грунта наиболее эффективно введение магния именно в составе многокомпонентных удобрений.

Несмотря на наличие промышленной базы по выпуску широкого ассортимента минеральных удобрений на ОАО «Гомельский химический завод», ОАО «Гродно Азот», ОАО «Беларуськалий», производство магнийсодержащих удобрений в Республике Беларусь отсутствует. Исходя из этого ОАО «Гомельский химический завод» организывает строительство нового цеха по получению сульфата магния мощностью 7000 тонн в год, а также расширение выпуска многокомпонентных магнийсодержащих NP, NPK и NPKS удобрений.

В рамках выполнения одного из приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований была выполнена комплексная работа, целью которой явилось изучение физико-химических основ и разработка технологических основ получения многокомпонентных магнийсодержащих удобрений с использованием сырьевой базы Республики Беларусь.

На основании анализа литературных данных и применяемых на ОАО «Гомельский химический завод» технологических процессов производства минеральных удобрений и оборудования, наиболее целесообразным является получение комплексного магнийсодержащего удобрения путем сернокислотного разложения фосфат- и магнийсодержащего сырья с последующей нейтрализацией образующейся фосфорнокислой суспензии, грануляцией и сушкой готового продукта.

В соответствии с этим в рамках исследований поставлены следующие задачи:

– исследовать физико-химические особенности введения магнийсодержащих компонентов на различных стадиях получения комплексных магнийсодержащих удобрений на базе многокомпонентных систем, образующихся в производстве суперфосфатов и фосфатов аммония;

– исследовать фазовый и минералогический состав, реологические и физико-механические свойства продуктов, образующихся на отдельных стадиях получения комплексных магнийсодержащих удобрений в зависимости от вида и способа введения магнийсодержащего сырья;

– исследовать влияние отдельных технологических параметров и вида магнийсодержащего сырья при получении комплексных удобрений.

Основная часть. Как показал анализ известных способов получения комплексных магнийсодержащих удобрений, наибольший интерес представляет способ, основанный на совместном разложении полигалита и фосфорита азотной кислотой с последующим смешением азотно-кислотной вытяжки с карбамидом и хлористым калием [1]. Однако в связи с отсутствием в Республике Беларусь производства нитрофосфатов, авторами была изучена возможность введения магнийсодержащего сырья на различных стадиях разложения фосфатного сырья с использованием серной и фосфорной кислот.

В качестве базовой марки удобрений была выбрана одна из наиболее востребованных на мировом рынке минеральных удобрений марка 15:15:15:5, которая является сбалансированным комплексным магнийсодержащим удобрением.

В ходе исследований изучено влияние условий введения магнийсодержащего сырья, продолжительности и температуры процесса разложения, а также концентрации серной кислоты на процесс кислотного разложения и основные технологические показатели.

Как видно из данных, представленных в табл. 1, совместное введение доломита с фосфатным сырьем оказывает негативное влияние как на содержание различных форм P_2O_5 , которое снижается с 65,14% до 49,09%, так и на общую степень разложения фосфатного сырья, которая снижается с 66,4% до 48,46%, что обусловлено присутствующим в составе доломита магнием, отрицательное влияние которого на процесс кислотного разложения фосфатных руд отмечено и другими авторами [2, 3].

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что доломит необходимо вводить в суспензию, образующуюся после разложения основной части апатита в одну из последующих секций реактора. При совместном введении исходного фосфор- и магнийсодержащего сырья норма расхода серной кислоты рассчитывалась исходя из условия совместного разложения апатита и доломита, поэтому в случае введения в начале процесса только апатита, фактическое количество серной кислоты оказывалось в избытке, что и способствовало достижению максимальной степени разложения сырья ($K_p = 66,40\%$).

Таблица 1

Влияние порядка введения магний- и фосфорсодержащего сырья на процесс сернокислотного разложения ($C(H_2SO_4) = 45$ мас. %; $T = 65^\circ C$; $t = 90$ мин; массовое соотношение фосфатное сырье : доломит 1,5)

Порядок введения реагентов	Распределение различных форм P_2O_5 , %, от $P_2O_5_{исх}$			K_1	K_2	K_p
	вод.	усв. ос.	общ. ос.			
Совместное разложение доломита и Ковдорского апатита	49,09	1,39	54,95	50,48	46,44	48,46
Разложение доломита, с последующим введением апатита через 15 мин	65,14	1,23	39,31	66,37	61,92	64,15
Разложение апатита, с последующим введением доломита через 75 мин	63,29	0,88	32,25	64,17	68,63	66,40

Примечание. $m(P_2O_5_{исх})$ – масса P_2O_5 в навеске апатита; $m(P_2O_5_{вод})$ – масса водорастворимого P_2O_5 ; $m(P_2O_5_{усв. ос.})$ и $m(P_2O_5_{общ. ос.})$ – массы усвояемого и общего P_2O_5 в высушенном осадке; $K_1 = (m(P_2O_5_{вод}) + m(P_2O_5_{усв. ос.})) / m(P_2O_5_{исх})$; $K_2 = 1 - (m(P_2O_5_{общ. ос.}) - m(P_2O_5_{усв. ос.})) / m(P_2O_5_{исх})$; $K_p = (K_1 + K_2) / 2$.

Результаты исследования влияния температуры на общую степень разложения апатита в присутствии доломита представлены в табл. 2. Максимальная степень разложения 96,37% достигается при температуре $90^\circ C$, однако процесс разложения при указанной температуре сопровождался существенным загустеванием суспензии вплоть до полной потери текучести. Данный факт обусловлен негативным влиянием образующихся фосфатов магния, что также подтверждается литературными данными. Введение дополнительного количества жидкой фазы, необходимой для достижения достаточной текучести, обеспечивающей возможность последующей переработки суспензии, не желательно, так как приведет к нарушению водного баланса и существенному увеличению энергетических затрат на ее последующее удаление на стадии сушки [4]. С учетом сказанного, оптимальной температурой является $80^\circ C$, при которой степень разложения достигает 91,26%, при поддержании высокой текучести образующейся суспензии.

Установлено, что в течение первых 90 мин происходит разложение основного количества сырья, а при дальнейшем увеличении продолжительности разложения до 180 мин и более

наблюдается загустевание суспензии вплоть до полной потери текучести. Это объясняется протеканием процесса роста и формирования частиц сульфата кальция, образующегося как при разложении фосфатного сырья, так и доломита, что делает невозможным последующую переработку образующейся суспензии по существующей технологии. Таким образом, оптимальная продолжительность процесса должна составлять 90–120 мин.

Однако даже при данных условиях максимальная степень разложения при использовании только серной кислоты не превышает 90–92%. Поскольку для выхода на заданную марку удобрений по содержанию фосфора согласно выполненным технологическим балансам необходимо дополнительное введение фосфорной кислоты, то необходимо изучить процесс разложения магний- и фосфорсодержащего сырья совместно смесью серной и фосфорной кислот. Результаты исследований представлены в табл. 3–4. В качестве исходного сырья применяли Ковдорский апатит и доломит месторождения «Руба», концентрация серной кислоты в жидкой фазе варьировалась от 25 до 63,62 мас. %, фосфорной – от 10 до 25 мас. %, продолжительность процесса разложения – от 60 до 240 мин.

Таблица 2

Влияние температуры на процесс сернокислотного разложения магний- и фосфорсодержащего сырья ($C(H_2SO_4) = 45$ мас. %; $t = 90$ мин; введение доломита через 75 мин после начала процесса, массовое соотношение фосфатное сырье : доломит 1,5)

Температура, $^\circ C$	Распределение различных форм P_2O_5 , %, от $P_2O_5_{исх}$			K_1	K_2	K_p	Вязкость, мПа · с
	вод.	усв. ос.	общ. ос.				
65	63,29	0,88	32,25	64,17	68,63	66,4	1298
70	87,12	0,59	11,5	87,71	89,09	88,4	1375
80	92,01	0,24	9,97	92,25	90,27	91,26	1543
90	95,19	0,6	3,66	95,79	96,94	96,37	3157

Таблица 3

Влияние концентраций серной и фосфорной кислот в жидкой фазе на разложение исходного сырья смесью кислот ($T = 80^{\circ}\text{C}$; $t = 90$ мин)

Концентрация кислоты в жидкой фазе, мас. %		Содержание различных форм P_2O_5 в осадке, % от P_2O_5 исх		K_2 , %
серной	фосфорной	P_2O_5 общ	P_2O_5 усв	
25	10	8,05	1,08	93,03
35	14	3,01	0,56	97,55
45	18	27,52	1,11	73,59
55	22	4,8	1,13	96,33
63,62	25	8,04	0,47	92,43

Таблица 4

Влияние продолжительности процесса на разложение исходного сырья смесью серной и фосфорной кислот ($\text{C}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 55$ мас. %; $\text{C}(\text{H}_3\text{PO}_4) = 22$ мас. %; $T = 80^{\circ}\text{C}$)

Продолжительность, мин	Содержание различных форм P_2O_5 в осадке, % от P_2O_5 исх		K_2 , %
	P_2O_5 общ	P_2O_5 усв	
60	25,56	0,74	75,18
90	4,8	1,13	96,33
120	3,74	0,59	96,85
240	3,95	0,98	97,03

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что при совместном разложении смесью кислот коэффициент разложения увеличивается по сравнению с разложением только серной кислотой с 90–92% до 97,55% (табл. 3). Таким образом, режимом кислотного разложения, при котором достигается максимальный коэффициент разложения фосфатного сырья, является организация стадийного процесса: первоначальное разложение смесью серной и фосфорной кислот фосфатного сырья при поддержании концентрации серной кислоты в жидкой фазе 55 мас. %, фосфорной – 22 мас. %, последующее введение магнийсодержащего сырья (доломита) в одну из последних секций реактора. Температура разложения составляет 80°C , суммарная продолжительность стадии разложения – 90–120 мин. В этих условиях общая степень разложения сырья достигает 96,85%.

Одними из важнейших факторов при разработке технологии получения многокомпонентных удобрений, определяющих как условия введения отдельных компонентов, так и ее аппаратное оформление, являются реологические свойства промежуточных и конечных продуктов. Поэтому особый интерес представляло изучение реологических свойств суспензий, в зависимости от условий введения магни-, азот- и калийсодержащих компонентов для различных видов магнийсодержащего сырья.

Известно, что введение карбамида способствует улучшению реологических свойств [4]. Поэтому карбамид может вводиться на любой стадии. Но лучше всего вводить карбамид

в кислую суспензию после стадии разложения, характеризующуюся наименьшей вязкостью и максимальной текучестью. Существенное влияние на реологические свойства суспензий оказывает также протекание конверсионных процессов при введении хлорида калия в суспензию. Однако это не всегда приводит к потере текучести. При введении хлорида калия в кислую суспензию возможно протекание реакции обменного разложения с образованием HCl , что крайне нежелательно, так как связано с ухудшением качества продукта, резким возрастанием коррозионного разрушения оборудования. Для исключения возможности протекания указанных выше процессов, предлагается введение KCl в частично нейтрализованную суспензию ($\text{NH}_3 : \text{H}_3\text{PO}_4 = 0,7\text{--}0,9$).

На основании выполненного комплекса исследований предлагается следующая схема: стадийное кислотное разложение фосфат- или магнийсодержащего сырья смесью серной и фосфорной кислот, введение азотсодержащего компонента в фосфорнокислую суспензию в составе аммиака и карбамида, введение семиводного сульфата магния и хлористого калия в частично либо полностью нейтрализованную суспензию.

Анализ результатов исследования реологических свойств суспензий, образующихся на всех стадиях технологического процесса, при его осуществлении в указанных выше условиях, показывает их улучшение при добавлении как карбамида, что хорошо коррелируется с литературными данными по изучению реологических свойств комплексных

карбамидсодержащих удобрений известных марок [4], так и сульфата магния. При введении сульфата магния эффект снижения вязкости более значителен за счет введения большого количества воды с кристаллогидратом.

Установлено, что протекание конверсионных процессов при введении аммиака и хлорида калия в суспензию оказывает негативное влияние на реологические свойства суспензий (увеличивается вязкость, снижается текучесть). Особенно резкое возрастание вязкости суспензий (от 10 до 100 раз) наблюдается при введении хлорида калия, поэтому его необходимо вводить в процесс либо в частично нейтрализованную суспензию, либо на стадии сушки и грануляции совместно с ретуром.

Таким образом, предлагаются три возможных варианта реализации технологического процесса, предполагающие различные способы и последовательность введения реагентов, а именно:

1) после кислотного разложения Ковдорского апатитового концентрата необходимо вводить карбамид в фосфорнокислую суспензию перед аммонизацией, что положительно скажется на подвижности суспензии с последующим введением всего количества, как сульфата магния, так и хлористого калия;

2) проведение кислотного разложения доломита, а все последующие стадии осуществляются по аналогии с предыдущим вариантом, только последняя треть хлористого калия для избегания загустевания суспензии должна вводиться непосредственно в барабанный гранулятор-сушилку вместе с ретуром;

3) после кислотного разложения доломита все последующие стадии осуществляются по аналогии с предыдущим вариантом, причем в суспензию можно вводить полное количество хлористого калия, так введенное количество сульфата магния положительно влияет на подвижность суспензии.

Для установления фазового состава удобрений и конверсионных процессов, протекающих в присутствии магния, использовали методы химического и рентгенофазового анализа. По данным химического анализа фосфор в полученных удобрениях присутствует в виде водорастворимых и усвояемых фосфатов. Кроме того, и те, и другие присутствуют в орто- и полиформах.

Более высокое содержание аммонийного азота в растворе, приготовленном для определения усвояемых фосфатов, по сравнению с водным раствором указывает на присутствие в удобрениях, наряду с водорастворимыми соединениями аммония, двойных солей аммония с кальцием или магнием.

При использовании в качестве исходной магнийсодержащей добавки сульфата магния

весь магний в полученном удобрении является водорастворимым, при использовании доломита – в продуктах присутствуют также и нерастворимые в воде соединения магния, хотя разложение доломита смесью серной и фосфорной кислот происходит практически полностью. Возможно, это связано с местом введения магнийсодержащего соединения, определяющим последующие конверсионные процессы.

Как было установлено авторами ранее, при получении NPK удобрений на отдельных стадиях процесса происходят различные химические взаимодействия, включающие обменные реакции хлорида калия с солями аммония, образование двойных солей (фосфатов и сульфатов), а также совместный гидролиз карбамида и дегидратация кислых фосфатов и фосфорной кислоты с образованием полифосфатов [5]. Протекание этих реакций приводит к тому, что получаемые удобрения представляют собой многокомпонентную систему, и введение соединений магния, очевидно, будет способствовать протеканию дополнительных процессов и усложнению фазового состава удобрений.

Результаты рентгенофазового анализа полученных NPKMg удобрений приведены в табл. 5. Из полученных данных следует, что основными фосфатными фазами в полученных удобрениях являются кислые ортофосфаты кальция, аммония, аммония-калия. Из полимерных фосфатов возможно присутствие полифосфатов аммония и дифосфатов аммония, кальция, аммония-кальция. Идентификация этих соединений соответствует результатам химического анализа по наличию в удобрениях водорастворимых и усвояемых орто- и полифосфатов, а также нерастворимых в воде солей аммония.

Основными азотсодержащими фазами являются карбамид, хлорид аммония, продукт их взаимодействия $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{NH}_4\text{Cl}$, фосфаты и сульфаты аммония, двойные аммонийные соли. Присутствие хлорида аммония подтверждает протекание взаимодействия хлорида калия с различными фосфатами и сульфатами с образованием сульфата калия, двойных солей калия-аммония и калия-кальция. Указанные соединения, а также непрореагировавший хлорид калия являются основными калийсодержащими фазами в полученных удобрениях.

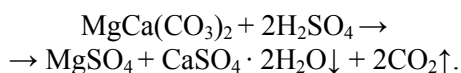
Соединения магния могут быть представлены в полученных удобрениях различными сульфатами и фосфатами. По данным рентгенофазового анализа, в состав продуктов могут входить сульфаты магния $\text{MgSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ с $n = 1-7$. На стадии сушки удобрений происходит частичная дегидратация данных кристаллогидратов, поэтому более вероятно присутствие соединений с меньшим содержанием кристаллизационной воды.

Таблица 5

Фазовый состав NPKMg удобрений

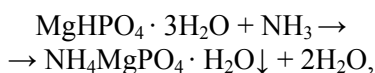
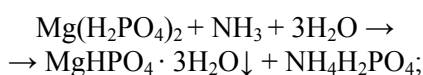
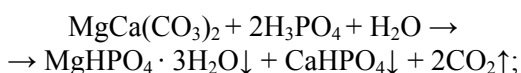
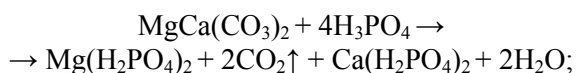
Фазы	Номер варианта получения NPKMg удобрения		
	1	2	3
Основные соединения, содержащие фосфор, азот, калий, кальций	KCl, CO(NH ₂) ₂ , CO(NH ₂) ₂ · NH ₄ Cl, Ca(H ₂ PO ₄) ₂ , CaHPO ₄ , K ₂ SO ₄ , CaSO ₄ , K ₂ Ca(SO ₄) ₂ · H ₂ O, K ₂ Ca ₅ (SO ₄) ₆ · H ₂ O		
	NH ₄ H ₂ PO ₄ , (NH ₄ , K) ₂ H ₂ PO ₄		
	NH ₄ Cl, (NH ₄) ₂ SO ₄ , (K, NH ₄) ₂ SO ₄		NH ₄ Cl, (K, NH ₄) ₂ SO ₄
Полифосфаты	NH ₄ PO ₃ , (NH ₄) ₂ H ₂ P ₂ O ₇ , Ca ₂ P ₂ O ₇ , CaH ₂ P ₂ O ₇ , NH ₄ CaHP ₂ O ₇		
Магнийсодержащие соединения	MgSO ₄ · nH ₂ O, K ₂ MgCa(SO ₄) ₃ · H ₂ O, Mg(H ₂ PO ₄) ₂ · 2H ₂ O		
		MgHPO ₄ · 3H ₂ O, NH ₄ MgPO ₄ · H ₂ O	

Поскольку доломит вводили в реакционную смесь на начальной стадии (после разложения фосфатного сырья), то процесс образования сульфата магния можно представить уравнением реакции

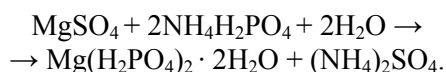


Кристаллизация гидратов сульфата магния происходит, очевидно, в процессе упаривания суспензии.

Еще одним процессом, протекающим при получении магнийсодержащих удобрений, является образование кислых фосфатов магния или двойных фосфатов аммония-магния: из доломита (на стадии кислотного разложения или аммонизации):

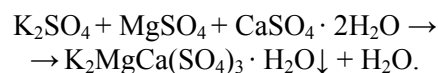


из сульфата магния (при упаривании суспензии и сушке продукта):

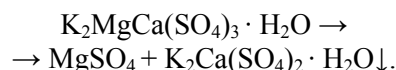
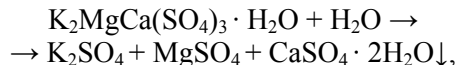


Подтверждением участия соединений магния в процессах конверсии хлорида калия

является также образование полигалита K₂MgCa(SO₄)₃ · H₂O. По данным авторов [3] одним из способов получения этой тройной соли является ее кристаллизация при упаривании водного раствора, содержащего сульфаты калия, магния и гипс:



Полигалит растворяется в воде инконгруэнтно с образованием гипса CaSO₄ · 2H₂O или сингенита K₂Ca(SO₄)₂ · H₂O, таким образом магний, содержащийся в составе полигалита, является водорастворимым:



Заключение. В результате выполненного комплекса исследований получены данные о химизме и реологических свойствах суспензий, промежуточных и конечных продуктов, образующихся на различных стадиях при получении комплексных магнийсодержащих удобрений на основе различных видов магнийсодержащего сырья, что позволило определить фазовый состав продукта и обосновать оптимальные условия и способы введения магний-, азот- и калийсодержащих компонентов в технологический процесс. Максимальный положительный эффект снижения вязкости достигается при введении в технологический процесс магния в составе семиводного сульфата магния и азота в составе карбамида.

Литература

1. Кармышов В. Ф. Химическая переработка фосфоритов. М.: Химия, 1983. 304 с.
2. Кононов А. В., Стерлин В. Н., Евдокимова Л. И. Основы технологии комплексных удобрений. М.: Химия, 1988. 320 с.
3. Lehr J. R. Crystallographic Properties of Fertilizer Compounds // Chem. Eng. Bull. 1967. № 6. P. 37.
4. Пендплис Дж. Новый способ получения удобрений на основе карбамида и суперфосфата // Мир серы, N, P и K. 1994. С. 52–59.

5. Дормешкин О. Б. Исследование химических превращений, протекающих при нагревании в системах, включающих компоненты комплексных удобрений // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы международной научно-технической конференции: в 2 ч. Минск. 2008. Ч. 1. С. 82–85.

References

1. Karmyshov V. F. *Khimicheskaya pererabotka fosforitov* [Chemical processing of phosphate rock]. Moscow, Khimiya Publ., 1983. 304 p.
2. Kononov A. V., Strelin V. N., Yevdokimova L. I. *Osnovy tekhnologii kompleksnykh udobreniy* [The basic technology of complex fertilizers]. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 320 p.
3. Lehr J. R. Crystallographic properties of fertilizer compounds. *Chem. Eng. Bull.*, 1967. no. 6, pp. 37.
4. Pendplis Dzh. A new method for producing fertilizers based on urea and superphosphate. *Mir sery, N, P i K – World of sulfur, N, P and K*, 1994, pp. 52–59 (in Russian).
5. Dormeshkin O. B. Investigation of the chemical transformations that occur during heating in systems comprising components NPK. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Resurso-i energosberegayushchie tekhnologii i oborudovanie, ekologicheski bezopasnyye tekhnologii»* [Materials of the International Scientific and Technical Conference «Resource- and energy-saving technologies and equipment, environmentally friendly technologies»], Minsk, 2008, pp. 82–85 (in Russian).

Информация об авторах

Дормешкин Олег Борисович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Dormeshkin@yandex.ru

Гаврилюк Андрей Николаевич – ассистент кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Gavriluk@belstu.by

Черчес Галина Хаимовна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gech@inbox.ru

Information about the authors

Dormeshkin Oleg Borisovich – D. Sc. Engineering, professor, Vice-Rector for research. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Dormeshkin@yandex.ru

Havryliuk Andrey Nikolaevich – assistant lecturer, Department of Technology of inorganic substances and general chemical technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Gavriluk@belstu.by

Cherches Galina Khaimovna – Ph. D. Chemistry, senior researcher, Department of Technology of inorganic substances and general chemical technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gech@inbox.ru

Поступила 23.02.2015