

УДК 631.812.2:661.85

Ф. Ф. Можейко, доктор химических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, главный научный сотрудник (ИОНХ НАН Беларуси);

Т. Н. Поткина, кандидат химических наук, старший научный сотрудник (ИОНХ НАН Беларуси);

И. И. Гончарик, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (ИОНХ НАН Беларуси);

З. А. Готто, научный сотрудник (ИОНХ НАН Беларуси)

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СУСПЕНДИРОВАННЫХ ЖИДКИХ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОЙ ФОСФОРИТНОЙ МУКИ

При флотационном обогащении белорусских фосфоритов, наряду с высококачественным флотационным концентратом, в процессе обезвоживания тонкодисперсных фракций образуется высокостабильная суспензия с высокими структурно-реологическими свойствами. Изложены результаты получения суспендированных жидких комплексных удобрений различных марок с широким содержанием полезных веществ на основе фосфоритовой суспензии, а также аммофоса, хлористого калия и азотных удобрений. Изучены способы регулирования физико-химических и структурно-реологических свойств их суспензий.

At flotation Belarusian phosphate, along with high-quality flotation concentrate, the high-stable suspension with good structural and rheological properties formed in dewatering process of the fine fractions. The results of obtaining of different brands suspended liquid complex fertilizers with a broad content of useful substances on the basis of phosphate slurry and monoammonium phosphate, potash and nitrogen fertilizers are presented. The ways of regulating the physicochemical and structural and rheological properties of their suspensions are investigated.

Введение. С созданием и развитием агропромышленного комплекса все острее становится проблема рациональной экономии затрат на производство и использование удобрений, так как туковая промышленность относится к многотоннажным и капиталоемким отраслям. В связи с этим крайне важным является решение вопроса эффективного использования минеральных удобрений. Основным источником потерь твердых минеральных туков, кроме механических потерь при транспортировке и внесении в почву, является крайне низкое и неэффективное использование вносимых питательных элементов растениями [1].

Существующий ассортимент твердых туков хотя и позволяет решить проблему обеспечения растений питательными веществами, но далеко не удовлетворяет в полной мере растущих потребностей сельского хозяйства. Более того, применение твердых туков не позволяет добиться однородности смеси и ее равномерного внесения в почву, что ведет в свою очередь к существенному перерасходу удобрений, снижению урожайности и загрязнению окружающей среды. По мнению ведущих зарубежных и отечественных специалистов, основные требования, предъявляемые к минеральным удобрениям, особенно при некорневой подкормке, могут быть удовлетворены только при использовании жидких форм удобрений. Сельскохозяйственная наука и практика последние три десятилетия прошлого века убедительно показывают, что место традиционных твердых туков

все чаще занимают жидкие, иными словами, будущее принадлежит жидким комплексным высококонцентрированным минеральным удобрениям. Их стремительное распространение рассматривается как «революция» жидких удобрений. Среди них весьма перспективны суспендированные жидкие комплексные удобрения (СЖКУ) [2, 3].

Суспензии жидких комплексных удобрений – это насыщенные солевые растворы, в которых диспергированы мелкие кристаллы (частицы) нерастворимых солей, стабилизирующих агентов и других веществ. Суспензии сочетают в себе преимущества как традиционных сложных двух-, трехкомпонентных твердых туков, а именно высокую $\approx 40\%$ -ную концентрацию питательных элементов, так и жидких комплексных удобрений (ЖКУ). Основными преимуществами СЖКУ перед твердыми туками являются: полная механизация и сокращение потерь при получении, транспортировке, хранении и внесении; более качественное (равномерное) распределение при поверхностном разбросном внесении, возможность совмещать внесение с другими агротехническими приемами обработки почвы, посевом, поливом, введении стимуляторов роста, пестицидов, микроэлементов. Поскольку в суспензиях растворимость компонентов не играет столь важную роль, как в ЖКУ растворов, преимуществом СЖКУ являются также возможность использования более дешевых малорастворимых материалов, в нашем случае фосфоритной муки, в качестве одного

из дополнительных и более дешевых источников питательных элементов, в частности P_2O_5 . Этим самым получение СЖКУ позволяют расширить сырьевую базу тукосмешения.

Суспендированные жидкие удобрения обладают высокой вязкостью, которая меняется при хранении, т. е. наблюдается явление тиксотропности. Поэтому их нужно перемешивать, для чего требуются мощные насосы, трубопроводы. Наличие твердых частиц в смесях значительно увеличивает абразивные свойства суспензий по сравнению с растворами, что приводит к износу насосов и другого оборудования при их производстве и внесении. Несмотря на трудности, это не мешает суспензиям быть наиболее перспективным видом удобрений. Именно высокая концентрация питательных веществ в суспендированных удобрениях окупает все перечисленные недостатки, и в зарубежной практике эти удобрения получают все большее распространение.

Крупнейшим производителем суспензий в дальнем зарубежье в настоящее время является США. СЖКУ в значительных объемах применяются в западно-европейских странах, таких как Англия, Франция, Дания, Италия, Бельгия, Чехия, Венгрия.

Как отмечалось ранее [4, 5], при разработке технологии флотационного обогащения белорусских фосфоритов, наряду с высококачественным флотационным концентратом, в процессе обезвоживания тонкодисперсных фракций образуется высокостабильная суспензия. Сушка этой суспензии даже в самых эффективных сушильных аппаратах типа распылительных сушилок сопряжена с большими энергетическими затратами. Учитывая их высокую стабильность и хорошие структурно-реологические и технологические свойства, было предложено использовать их в качестве суспендированных жидких комплексных удобрений, вводя в них необходимое количество хлористого калия и азотных удобрений.

На основе фосфоритной муки, аммофоса, карбамида, хлорида калия, сульфата аммония, выпускаемых химической промышленностью Республики Беларусь, нами разработаны составы СЖКУ НРК-удобрений различных марок с широким содержанием полезных веществ. Для достижения высокого качества суспензий и высокой концентрации по азоту и P_2O_5 нами использован в качестве базового раствора аммофос вместо ныне применяемых для этих целей дорогостоящих и энергоемких аммонизированных полифосфорных кислот. Изучены технологические свойства суспендированных составов. Так как в суспензиях кроме растворенных солей содержится часть солей в виде твердых частиц (азотных и калийных солей, фосфорит-

ной муки), то встает вопрос об удержании этих частиц во взвешенном состоянии, предотвращении их осаждения и роста кристаллов из перенасыщенных растворов при хранении суспензий. Иными словами, речь идет о получении достаточно устойчивых дисперсных систем. Показано, что исходные суспензии на основе фосфоритной муки, азотсодержащих солей и мелкокристаллического хлорида калия являются слабоструктурированными системами с высоким значением водоотдачи и доли осветленного слоя, с низкими значениями тиксотропности и стабильности.

Результаты опытов по определению устойчивости фосфорито-солевой дисперсии фосмуки, карбамида, хлорида калия состава 12,4–6,3–0 и 10,6–5,2–11,5 (N : P_2O_5 : K_2O), жидкой фазой которых являются концентрированные солевые растворы, приведены на рис. 1.

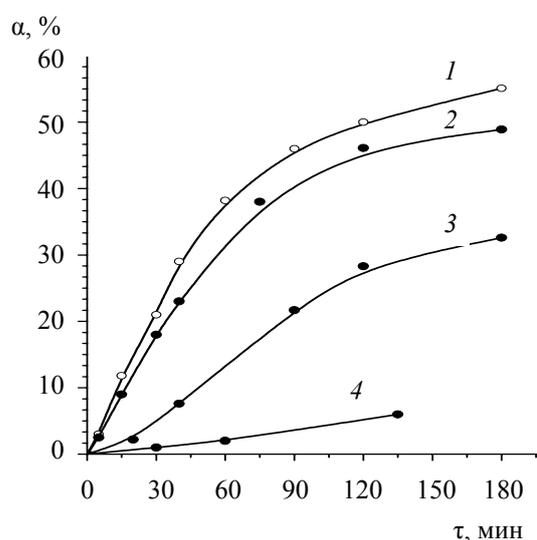


Рис. 1. Зависимость степени осветления (α) фосфорито-солевых дисперсий от продолжительности:

1 – суспензия состава 12,4 : 6,3 : 0;
2 – 10,6 : 5,2 : 11,5; 3, 4 – бентонитовая глина
2 и 4 мас. % соответственно

Приведенные данные показывают, что суспензии на основе фосмуки являются неустойчивыми системами с высокой долей осветленного слоя в течение короткого времени. Так, доля осветленного слоя указанных составов в течение часа соответственно составляет 38 и 30 мас. % (кривые 1, 2). Введение стабилизатора – бентонитовой глины в количестве 2, 3 мас. % – резко уменьшает степень расслаивания, осветленный слой составляет около 12%, при большем его расходе (4 мас. %) – только 2% при одном и том же времени отстаивания суспензии (кривые 3, 4). Суспензии минеральных удобрений по своей природе являются грубодисперсными

системами, поэтому для придания им гомогенности по всему объему и устойчивости к расслаиванию в их состав необходимо вводить стабилизаторы, повышающие вязкость системы до необходимого уровня и замедляющие скорость осветления.

Применяемые в качестве стабилизирующих добавок глины должны обладать определенными свойствами, главным из которых является способность их к набуханию. Для исследований использовались бентонитовые глины. Для таких глин характерно не только капиллярное всасывание воды, но и внутрикристаллизационное, обуславливающее высокую степень набухания. При наблюдении в электронный микроскоп мелкие частицы монтмориллонита дают характерные пластинчатые, листочкообразные кристаллики. Наименьшая толщина частиц монтмориллонита, как и многих глин, 0,001 мм, удельный вес 2,5–2,6 г/см³. Бентонитовые глины обладают высокой способностью к обмену катионов. Емкость обмена по сути определяет физико-химические свойства глин. Глины, содержащие щелочные металлы, главным образом натрия, набухают в большей степени, чем глины, в состав которых входит кальций.

Для приготовления исходной глиняной суспензии глину предварительно измельчали до частиц размером 0,071 мм, смешивали с горячей водой при интенсивном перемешивании и массовом соотношении 1 : 6; 1 : 10; 1 : 15 при

температуре 70°C. Для исследований использовались натриевая и кальциевая формы бентонитовой глины. Установлено, что бентонитовая глина, состоящая из Na-монтмориллонита, набухает очень быстро и даже при обычной температуре превращается в гель, представляющий собой очень вязкую структурированную систему, устойчивую в течение нескольких месяцев. Для улучшения набухания Са-формы и получения достаточно вязкой гелеобразной глины к ней добавляли щелочной компонент (соду) в количестве до 5 мас. % от массы глины, что способствовало переходу в Na-форму, одновременно образовывался мелкодисперсный карбоната кальция, который является дополнительным суспендирующим агентом.

Получены составы СЖКУ НРК-удобрений различных марок на основе аммофоса, фосфоритной муки, карбамида, хлорида калия. В табл. 1 приведены характеристики основных марок тройных удобрений, приготовленных при смешении базисного раствора аммофоса, бентонитовой глины, фосфоритной муки, сухих карбамида и хлорида калия. Сумма питательных веществ в зависимости от марки составляет от 23,0 до 29,9 мас. %. Доля P₂O₅ из фосфоритной муки в суспензии колеблется в пределах 1,78–2,38 мас. %, из аммофоса – 12,69–14,31 мас. %. Плотность растворов – в пределах 1,267–1,430 г/см³, соотношение Т : Ж от 0,86 до 1,16, динамическая вязкость минимальная – 80–1200 мПа · с.

Таблица 1

Характеристика и технологические свойства трехкомпонентных (НРК) составов СЖКУ на основе растворов аммофоса (1–9), карбамида (10–12) и твердых удобрений (фосмуки, карбамида, хлорида калия) (№ 8–9 – введена Na-КМЦ)

№ уд.	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O, мас. %	Солевой состав, мас. %						η _{min} , мПа · с	ρ, г/см ³	P _{к2} , Па	Т : Ж	Значение pH
		Аммофос	Карбамид	Фосмука	KCl	Бент. глина	H ₂ O					
1	5,4 : 15,5 : 4	27,75	4,54	12,61	6,3	2,10	46,67	100	1,354	166	1,16	7,1
2	6,2 : 19,1 : 4,6	31,8	5,19	14,43	7,4	–	41,38	–	–	–	1,43	7,3
3	4,8 : 14,8 : 3,5	24,64	4,03	11,2	5,6	1,12	53,39	80	1,340	30	0,86	7,2
4	5,4 : 16,7 : 4	27,75	4,54	12,61	6,3	–	48,78	200	1,408	50	1,04	7,1
5	5,2 : 16,0 : 3,8	26,63	4,35	12,10	6,1	1,21	49,63	170	1,267	180	1,00	7,4
6	5,4 : 16,7 : 4,0	27,87	4,56	12,66	6,3	0,92	47,63	–	–	–	1,10	7,3
7	8,7 : 13,8 : 7,6	26,12	11,9	–	11,9	2,37	47,66	500	1,430	105	1,10	7,1
8	8,1 : 10,1 : 7,4	16,82	9,25* 7,56	10,93	12,6	–	42,05	–	–	–	1,60	7,2
9	7,5 : 9,3 : 6,9	14,49	7,97* 6,52	9,42	10,9	–	50,72	1200	1,350	280	1,00	7,2
10	5,8 : 10,6 : 7,4	13,3	10,66	26,6	13,3	3,0	39,3	–	–	–	2,0	7,3
11	6,7 : 10,0 : 7,0	12,5	6,25* 9,4	25,0	12,5	2,8	31,2	–	–	–	2,2	7,1
12	9,1 : 11,8 : 9,6	15,2	16,2	20,3	15,2	1,4	39,6	–	–	–	2,2	7,2
13	7,0 : 9,5 : 6,6	11,8	14,1	23,5	11,8	2,6	36,3	500	1,430	265	1,8	7,4
14	7,8 : 9,0 : 6,3	11,1	5,5* 13,2	22,2	11,1	2,5	34,1	180	1,420	190	2,0	7,1

* (1–9) – NH₄NO₃; (10–15) – (NH₄)₂SO₄

В табл. 1 приведены характеристики тройных СЖКУ, полученных с применением концентрированного раствора с содержанием 40 мас. % карбамида, в котором растворялся аммофос при нагревании до 70°C и интенсивном перемешивании, сюда вводилась гелеобразная бентонитовая глина, фосфоритовая мука и сульфат аммония. Полученные суспензии имеют такие же показатели, как и в первом случае, плотность при 20°C 1,35–1,43 г/см³, вязкость немного выше 180–370 мПа·с, соотношение твердого к жидкому в пределах 1,0–2,2.

Определена кинетическая устойчивость полученных композиционных составов. Результаты приведены на рис. 2.

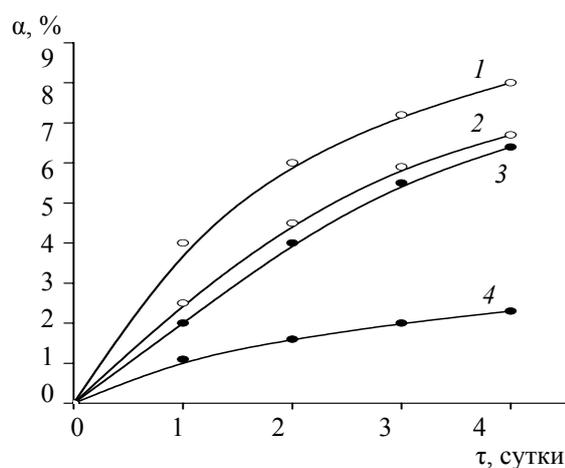


Рис. 2. Зависимость доли осветленного слоя (α) от продолжительности выстаивания суспензий:

1 – № 4 (табл. 1); 2 – № 9 (табл. 1);
3 – № 6 (табл. 1); 4 – № 5 (табл. 1)

Из полученных данных следует, что использование аммофоса в качестве базовых растворов из-за содержащегося в нем фторфосфатного шлама способствует стабилизации суспендированных удобрений даже в отсутствие бентонитовой глины. Доля осветленного слоя суспензий, например состава 7,5–9,3–6,9, за одни сутки составляет 2,5%, за четверо суток только 6,5% (кривая 2, рис. 2)

Содержание P₂O₅ в удобрениях за счет аммофоса составляет 7,52 мас. %. Суспензии с содержанием больших количеств аммофоса (25–31 мас. %) в присутствии фосфоритной муки представляют собой стабильные высокопрочные структурированные системы с высокой тиксотропностью, загустевающие при более низких температурах до пастообразного состояния, что вызывает необходимость их периодического перемешивания.

Определены структурно-реологические показатели разработанных нами суспендированных удобрений различного состава с использованием

в качестве стабилизатора бентонитовой глины. Структурно-реологические свойства изучали на ротационном вискозиметре «РЕОТЕСТ-2». Полученные реологические кривые, представленные на рис. 3, 4, свидетельствуют, что суспензии являются структурированно жидкообразными системами, относящимися к неньютоновским жидкостям. На основании проведенных исследований установлено, что с увеличением содержания твердой фазы в суспензиях прочность их структуры значительно повышается, о чем свидетельствует увеличение реологических характеристик $p_{к2}$ и η .

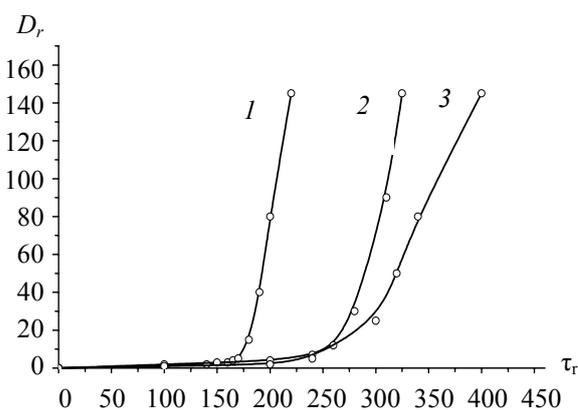


Рис. 3. Реологические кривые течения суспендированных удобрений различного состава: D_r – градиент скорости, C⁻¹; τ_r – напряжение сдвига, Па (то же для рис. 4): 1 – № 5 (табл. 1); 2 – № 6 (табл. 1); 3 – № 9 (табл. 2)

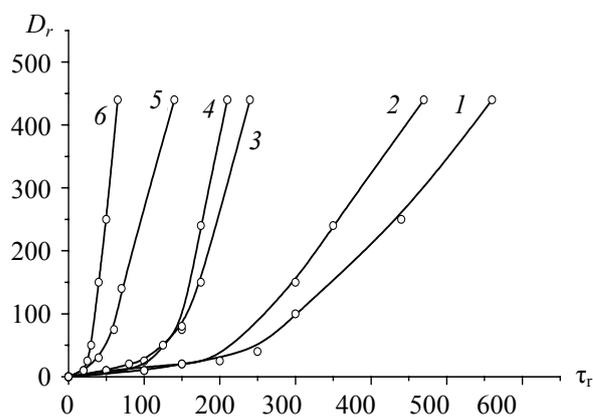


Рис. 4. Реологические кривые течения суспендированных удобрений: 1, 3–6 – № 1 (табл. 1); 2 – № 4 (табл. 2)

Так, при отношении Т : Ж = 1–1,5 и Т : Ж = 2 предельное напряжение сдвига в первом случае равно 50–100 Па, а $\eta_{\min} = 0,1–3,0$ Па·с, то во втором – повышаются до 200–300 Па, а вязкость – до 1 Па·с и более.

Сравнивая реологические характеристики с данными по устойчивости суспензий, установлено, что системы с высоким содержанием

твердой фазы сохраняют стабильность в течение нескольких суток. Суспензии с низким содержанием твердой фазы расслаиваются в течение трех суток на 26–30%. Анализируя полученные данные, можно заметить, что, изменяя содержание исходных компонентов, можно изменять структуру суспензии. Так, при введении раствора с содержанием 40 мас. % карбамида стабильность СЖКУ значительно выше, чем при использовании карбамида в виде твердой фазы.

Для стабилизации фосфорно-солевых суспензий вместо дорогостоящих и дефицитных бентонитовых глин нами предложено применять глинисто-карбонатные шламы и доступные для сельского хозяйства соединения кальция. Показано, что полученные суспензии как на основе базисного раствора 10–34–0, так и с участием фосфоритной муки, аммофоса, растворимых азотсодержащих солей, хлорида калия в присутствии CaO , CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обладают хорошими физико-химическими свойствами. Качество полученных суспендированных удобрений практически не уступает таковым при использовании бентонитовой глины (табл. 2).

Получены устойчивые, нераслаивающиеся в течение длительного времени (неделю и более) бинарные и трехкомпонентные составы СЖКУ с суммой питательных веществ 26–30 мас. % в бинарных и 23–35 мас. % в трехкомпонентных НРК-удобрениях. Плотность удобрений в зависимости от их состава колеблется в пределах 1,31–1,61 г/см³, вязкость – 0,97–4,40 Па · с. Содержание P_2O_5 в суспензиях за счет фосфоритной муки составляет 3,4–5,7 мас. %, количество суспендирующего агента (ГСШ) – 0,7–4,0 мас. %.

Использование глинистого шлама с мелом или известью способствует увеличению устойчивости получаемых суспензий при сохранении достаточно высокой текучести.

Для определения текучести использовали методику, в основе которой лежит способность суспензии растекаться под действием собственной массы. Ее определяли по распылу вытекаемой суспензии из стандартного конуса.

Для увеличения текучести различного рода суспендированных систем на практике применяются в качестве реагентов-разжижителей как неорганические, так и органические соединения. Из неорганических разжижителей наибольшее применение в промышленности нашли соли слабых и средних кислот, дающие ярко выраженную щелочную реакцию (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , Na_2SiO_3 , $\text{Na}_2\text{P}_3\text{O}_{10}$).

Нами в качестве неорганического разжижителя суспендированных удобрений использована кальцинированная сода. Применение соды совместно с суспендирующими стабилизаторами (мел, известь, глинистые шламы) обеспечивает получение устойчивых и подвижных суспензий, кроме того, способствует повышению значения рН, что играет весьма важную роль при их использовании. Например, использование мела (1 мас. %) в сочетании с содой (1 мас. %) способствует увеличению текучести суспензии с 91 до 95 мм, увеличивает значение рН с 4,2 до 5,0, а также повышает устойчивость суспензии по сравнению с использованием одного мела. Аналогичная картина наблюдается при использовании глинистого шлама совместно с содой.

Таблица 2

Влияние различных реагентов-стабилизаторов на физико-химические свойства СЖКУ на основе фосфоритной муки Полпинского месторождения, аммофоса и растворимых удобрений (1–3 марка 1 : 1,1 : 1; 4–10 – марка 1: 0,6 : 0,9)

№ п/п	Солевой состав, мас. %					Стабилизирующий агент, мас. %		Вязкость, Па · с		Плотность, г/см ³	Значение рН	Устойчивость	
	Карбамид	Аммофос	Фос-мука	KCl	K ₂ SO ₄	CaCO ₃	Глинистый шлам	max	min			Сутки	Процент осветления
1	20,0	17,4	21,8	17,5	–	1,7	–	86,02	0,23	1,51	4,5	1	0
2	18,6	16,2	20,2	16,2	–	0,8	–	22,7	0,4	1,48	4,2	1	2
3	17,4	15,1	18,9	15,1	–	0,75	–	14,0	0,25	1,45	4,2	1	4
4	29,3	11,7	17,4	21,3	–	0,5	1,0	26,7	0,64	1,49	4,3	2	0
5	27,3	8,3	23,1	19,8	–	–	1,8	17,1	0,31	1,47	4,7	1	0
6	26,2	8,0	22,1	19,0	–	1,8	–	22,6	0,1	1,48	5,3	–	–
7	27,2	8,3	23,0	–	23,0	1,8	–	99,6	1,7	1,50	4,7	2	0
8	24,7	7,5	20,9	–	20,9	1,6	–	23,9	0,2	1,51	4,5	2	2
9	25,8	7,8	21,8	–	21,8	–	–	21,4	0,27	1,46	5,2	1	0
10	26,2	8,0	22,1	–	22,1	1,8	–	80,0	0,67	1,49	4,6	2	0

Показано, что использование в качестве суспендирующего агента глинисто-солевого шлама добавок Na-КМЦ оказывает дополнительное стабилизирующее действие на СЖКУ. В течение 7 суток и более суспензии практически не расслаиваются, доля осветленного слоя почти нулевая. Хорошие результаты достигнуты при использовании небольших добавок Na-КМЦ (0,1–0,5 мас. %) в сочетании с содой. В этом случае текучесть суспензий повышается до 95 мм при меньшей вязкости и сохранении той же устойчивости.

Для разжижения высокопрочных структур из большого числа разжижителей сырьевых шламов или понизителей вязкости глинистых шламов предложено применять лигносульфонаты (ЛС) и щелочной сток производства капролактама (ЩСПК), а также другие побочные продукты производств промышленных предприятий Республики Беларусь.

Введение ЛС в количестве 2–5 мас. % по твердому способствует разжижению СЖКУ, понижению вязкости до 1,25–2,50 Па·с, увеличению текучести до 98×98 мм при сохранении хорошей устойчивости. При дальнейшем повышении концентрации ЛС текучесть понижается, а вязкость повышается, что согласуется с данными по влиянию ЛС на реологические свойства глинисто-солевых дисперсий и связано с усилением структурообразования в системе.

Показано, что в случае применения ЩСПК при небольших концентрациях он оказывает стабилизирующее действие на систему, вследствие чего повышается устойчивость суспензии (1,2–1,4% осветление вместо 25% без него), уменьшается текучесть, повышается вязкость, затем при повышении концентрации наблюдается постепенное уменьшение вязкости суспензий и как следствие повышение текучести. При использовании бинарных составов предложенных разжижителей СЖКУ на основе ЩСПК и ЛС с ростом концентрации повышается текучесть суспензий, снижается их вязкость при некоторой потере устойчивости.

Заключение. Установлено, что предложенные суспендированные удобрения, содержащие 30,3 мас. % полезных компонентов, обладают прочной структурой, которая повышается с увеличением в ней стабилизатора – бентонитовой глины в той или иной форме. С повышением

концентрации водной фазы в суспензии понижается их устойчивость и прочность структуры в целом.

Для разжижения (понижения вязкости) структур предложено применять смесь ЛС и ЩСПК. Введение реагентов-понизителей вязкости в количестве 2–5 мас. % способствует разжижению СЖКУ, увеличению их текучести до 98×98 мм (по МХТИ), снижению вязкости до 1,25–2,50 Па·с при сохранении устойчивости. Выявлены различия в действии разжижителей на СЖКУ с участием мочевины и сульфата аммония.

Для стабилизации фосфорно-солевых суспензий вместо дорогостоящих и дефицитных природных глин предложено применять наряду с глинисто-карбонатными шламами доступные для сельского хозяйства соединения кальция. Показано, что полученные суспензии как на основе базисного раствора 10–34–0, так и с участием фосфоритной муки, аммофоса, растворимых азотсодержащих солей, хлорида калия в присутствии CaO, CaCO₃, CaSO₄·2H₂O обладают хорошими физико-химическими свойствами. Качество полученных суспендированных удобрений практически не уступает таковому при использовании бентонитовой глины.

Литература

1. Лапа В. В. Потребность и перспективы применения минеральных удобрений в Республике Беларусь // Перспективы производства минеральных удобрений в Республике Беларусь: сб. ст. Минск: Юнипак. 2005. С. 5–9.
2. Ефимова Л. П., Малахова Н. Н. Получение суспендированных удобрений // Химическая промышленность. 1981. № 2. С. 27–28.
3. Постников А. В., Ефремова Л. Н. Суспендированные удобрения – новая форма // Химия в сельском хозяйстве. 1992. № 3. С. 28–32.
4. Получение суспендированных жидких комплексных удобрений, включающих фосфоритную муку / Ф. Ф. Можейко [и др.] // Доклады НАН Беларуси. 2006. № 1. С. 53–57.
5. Белорусские фосфориты – новый вид фосфатного сырья / Н. И. Воробьев [и др.] // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. 2000. Вып. VIII. С. 322–332.

Поступила 11.03.2014