

## **Отзыв**

официального оппонента на диссертационную работу Колпакова Вячеслава Михайловича "Получение NPK-удобрений путем совместной аммонизации смеси азотной и фосфорной кислот", представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ

### **Актуальность работы**

Одним из важнейших факторов для подъема экономики страны является развитие аграрного сектора, что подразумевает производство и внесение удобрений для повышения и поддержания плодородия почв.

Одним из условий развития отрасли производства минеральных удобрений является разработка новых и модернизация существующих технологий их производства. Внедрение новых инновационных технологических решений призвано обеспечивать улучшение показателей качества гранулированных минеральных удобрений для обеспечения их конкурентоспособности на рынке, повысить энергоэффективность производств и способствовать ресурсосбережению.

Такие показатели качества, как слеживаемость, статическая прочность гранул, пылимость – во многом зависят от химического состава и структуры гранул. Одним из наиболее востребованных видов удобрений являются комплексные удобрения, содержащие основные питательные элементы, необходимые для жизнедеятельности растений – азот, фосфор и калий. Технологии производства нитратсодержащих NPK-удобрений, востребованы у производителей во всем мире, хотя им присущи проблемы как с физико-механическими свойствами удобрений, так и с безопасностью производства. Диссертационная работа Колпакова В.М., посвященная разработке новых научно обоснованных технологических решений по получению концентрированных нитратсодержащих NPK-удобрений для создания новых современных и модернизации существующих технологических схем с целью

улучшения потребительских свойств продукта и понижения взрыво- и пожароопасности производств несомненно, представляется актуальной.

**Научная новизна** рассматриваемой диссертационной работы выражается следующими основными положениями:

1. Определены химический и фазовый составы нитратсодержащих NPK- и NP-удобрений, полученных при различной степени нейтрализации. Основными кристаллическими фазами являются:  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , содержание которого практически не изменяется с ростом степени нейтрализации,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , доля которого непрерывно увеличивается, и различных двойных солей и твердых растворов:  $(\text{K}_{0,952}(\text{NH}_4)_{0,048})\text{NO}_3$ ,  $(\text{K}_{0,37}(\text{NH}_4)_{0,63})\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $2\text{KNO}_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $(\text{K}_{0,70}(\text{NH}_4)_{0,30})_2\text{SO}_4$ , общее содержание которых снижается при увеличении степени нейтрализации, что обусловлено снижением содержания  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , вступающих в конверсионные взаимодействия с  $\text{KCl}$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .
2. С применением ротационной вискозиметрии установлены реологические характеристики (вязкость, плотность) реакционных пульп для стадий: нейтрализации аммиаком смеси кислот; введения сульфата аммония и хлорида калия. Для зависимостей вязкости систем  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - $\text{NH}_4\text{NO}_3$ - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - $\text{NH}_4\text{NO}_3$ - $\text{KCl}$  и  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - $\text{NH}_4\text{NO}_3$ - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{KCl}$  от содержания влаги, температуры и составов получаемых NPK-удобрений предложены описывающие их эмпирические уравнения в виде  $\eta = f(T, W)$ , где  $\eta$  – вязкость, мПа·с;  $T$  – температура °С;  $W$  – влажность, % масс. При этом расхождения между расчётными и экспериментальными данными не превышают 10%.
3. Установлено, что с ростом степени нейтрализации, выраженной мольным отношением  $[\text{NH}_3]:[\text{H}_3\text{PO}_4]$  (МО) от 1,0 до 1,9 количество выделяемого тепла и потеря массы уменьшаются приблизительно в 1,7 раза), что объясняется увеличением содержания диаммонийфосфата

- (ДАФ) и сульфата аммония (СА), являющихся ингибиторами термического разложения нитратных компонентов. Продукты с высоким содержанием суммарного азота и низкой степенью нейтрализации (марка 22:11:11) термически менее устойчивы, чем индивидуальная аммиачная селитра (АС), что связано с высоким содержанием в них нитратного азота и каталитическим влиянием хлоридов на термическое разложение.
4. Впервые установлены количественные показатели по влиянию степени нейтрализации на составы и основные физико-механические свойства гранулированных NPK-удобрений: увеличение степени нейтрализации (рост МО от 1,0 до 1,6÷1,7) для различных марок способствовало снижению тенденции к слеживаемости на 10÷60 % и коэффициента гигроскопичности на 3÷40%.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложена новая гибкая технология получения различных марок нитратсодержащих NPK-удобрений с использованием действующего в промышленности оборудования.
2. Предложен и апробирован в промышленных условиях пожаро-взрывобезопасный, энергосберегающий и экологичный способ получения нитратсодержащих NPK-удобрений с повышенной термической устойчивостью. Получен патент на изобретение № RU2541641C1 «Способ получения комплексного удобрения».
3. Определены оптимальные условия (МО, температура, влажность пульпы) проведения стадий нейтрализации смеси кислот и введения в пульпы сыпучих сырьевых компонентов, гранулирования и сушки гранул.
4. Разработаны и выданы исходные данные для проектирования нового производства гранулированных нитратсодержащих NPK-удобрений мощностью 900 тыс. тонн физической массы в год. В 2019 году на технологической системе № 3 участка №2 Производства минеральных

удобрений АО «Апатит» внедрены аппарат преднейтрализатор и новая схема двухстадийной нейтрализации.

5. Разработанные и реализованные технологические решения дали основание для внесения данной технологии в раздел перспективных технологий информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 2-2019 «Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот», а также в перечень видов технологий, признаваемых современными технологиями в целях заключения специальных инвестиционных контрактов № 3143-р, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации 28.11.2020.

#### **Анализ содержания диссертации:**

Диссертационная работа изложена на 140 страницах машинописного текста состоит из введения, 3 глав, выводов, списка литературы и приложений.

Работа содержит 22 таблицы и 56 рисунков.

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием современных методов исследования с применением сертифицированного оборудования. Научная обоснованность выводов обеспечена также апробацией работы на научных конференциях и проверкой в промышленных условиях.

Автореферат диссертации и публикации, корректно и в достаточной степени полно отражают содержание диссертации.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, определены цели и задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, апробация результатов и положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** содержится обзор отечественной и зарубежной литературы, отражающий агрохимическую ценность нитратсодержащих NPK-удобрений; выполнен анализ известных способов производства комплексных удобрений, содержащих нитрат аммония (НА); представлен графический

анализ процесса аммонизации фосфорной кислоты в системе  $\text{NH}_3\text{--H}_3\text{PO}_4\text{--H}_2\text{O}$ ; рассмотрены физико-химические и структурно-механические свойства комплексных нитратсодержащих удобрений и способы их улучшения; так же приведена информация по их термической устойчивости.

**Во второй главе** представлены характеристики использованного сырья и реактивов, способы синтеза объектов и методики их исследований. Приведены результаты изучения химического и фазового состава нитратсодержащих NPK-и NP-удобрений, реологических характеристик модельных пульп, физико-механических свойств продуктов и способов их улучшения, термохимических свойств и способов повышения термической устойчивости удобрительных композиций.

**В третьей главе** предложена принципиальная схема производства NPK-удобрений, отличительной особенностью которой от существующих схем является организация основной стадии процесса – аммонизации кислот и абсорбционных стоков, осуществляемой в преднейтрализаторе, баковых аппаратах с введением добавок и трубчатых реакторах. Преимуществами предлагаемой схемы являются повышение технологической и экологической безопасности проведения процесса, снижение операционных и капитальных затрат на строительство, получение продукта с улучшенными потребительскими свойствами. В рамках работы составлены материальные и тепловые балансы для разрабатываемого процесса с использованием программного обеспечения Microsoft Excel, результаты которых были положены в основу разработки исходных данных на проектирование промышленного производства. Рассчитан экономический эффект от реализации разработок.

#### **Замечания и вопросы по диссертации:**

1. Расположение точек В и С, характеризующих соответственно 100 %  $\text{NH}_3$  и 100 %  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,—за пределами рисунка 1.1. (стр. 25.) затрудняет

восприятие. Вероятно, имело смысл изменить масштаб и привести данный рисунок как увеличенный фрагмент.

2. Стр. 37. Температуры гранулирования на тарелке и сушки в лабораторном сушильном шкафу практически совпадают. Почему не досушить гранулы прямо на тарельчатом грануляторе совместив 2 стадии? Так же не приведены данные по гранулометрическому составу полученного продукта.
3. Для рисунков 2.39-2.40 и 2.42-2.43, на мой взгляд, стоило бы добавить для сравнения данные для тех же марок удобрения без магнийсодержащей добавки.
4. Известно, что управляемое структурирование NPK-возможно путём введения ряда добавок. Интересно было бы с помощью современных методов анализа, используемых автором, исследовать влияние на структуру гранул введения и других добавок, помимо магнизиальной (сульфата аммония, борной кислоты и т.д.).

Отмеченные недостатки не могут повлиять на общую положительную оценку диссертационной работы, представляющую собой законченное научное исследование, характеризующееся научной новизной и имеющее практическую ценность.

### **Заключение**

На основании вышеизложенного можно утверждать, что диссертационная работа Колпакова Вячеслава Михайловича по актуальности, научной новизне, практической значимости и объему исследований является законченной квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 05.17.01 - «Технология неорганических веществ» (п. 1, 2 формулы специальности, п. 1, 2, 6 области исследований).

Диссертация соответствует требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский

химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»  
утвержденного приказом ректора № 1523ст от 17.09.2021 г.

Таким образом, на основании вышеизложенного, считаю, что Колпаков Вячеслав Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 - «Технология неорганических веществ».

Доцент Кафедры процессов и аппаратов  
химических технологий имени Гельперина Н.И.

МИРЭА – Российского технологического университета,

к.т.н., доцент

Таран Юлия Александровна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»  
РТУ МИРЭА

119571, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 86, телефон: +7(499)215-  
65-65

E-mail: taran\_yu@mirea.ru

Подпись Ю.А. Таран удостоверяю



Первый проректор РТУ МИРЭА

Н.И. Прокопов