КАРБАМИД, MAP, K_2SO_4, KNO_3, $MGSO_4$ ВА $MG(NO_3)_2$ ЎҒИТЛАРИНИНГ РЕОЛОГИК ХОССАЛАРИ

Икрамов Мубошир
ПҲД докторант, Умумий ва Ноорганик Кимё институти, Ўзбекистон Фанлар академияси, Тошкент, Ўзбекистон
Тел: (0893) 914-0098
Э-маил: икрамов.мх@маил.ру
Закиров Баҳтиёр
Профессор, Умумий ва Ноорганик Кимё институти, Ўзбекистон Фанлар академияси, Тошкент, Ўзбекистон
Тел: (0891) 162-2680

Аннотация: Ушбу мақолада минерал ўғитлар (карбамид, моноаммоний фосфат (MAP), калий сульфати, калий нитрати, магний сульфати ва магний нитрат)нинг реологик хоссалари тизимли равишда баён қилинди. Кўриб чиқилган кўрсаткичлар порошок агломерацияси, оқувчанлик, оммавий зичлик, ишқаланиш бурчаги, Хауснер нисбати ва Карр индекси, шунингдек сувли еритмаларнинг динамик ёпишқоқлиги билан ифодаланади. Таърифланган назарий моделлар (Бингам пластик, Аррениус туридаги ҳароратга боғлиқлик, Кригер–Доэрти тенгламаси) амалий ишлаб чиқариш ва логистика жараёнларида қўлланилиши бўйича муҳокама қилинди.

Калит сўзлар: реология, ўғит, оқувчанлик, Хауснер нисбати, Карр индекси, ёпишқоқлик, гигроскопиклик.

Аннотация: В данной статье систематически описаны реологические свойства минеральных удобрений (мочевины, моноаммонийфосфата (МАФ), сульфата калия, нитрата калия, сульфата магния и нитрата магния). Рассмотренные показатели характеризуются агломерацией порошка, текучестью, массовой плотностью, углом трения, отношением Хауснера и индексом Карра, а также динамической вязкостью водных растворов. Обсуждены описанные теоретические модели (пластик Бингама, температурная зависимость типа Аррениуса, уравнение Кригера-Доэрти) по применению в практических производственных и логистических процессах.

Ключевые слова: реология, удобрение, текучесть, коэффициент Хауснера, индекс Карра, вязкость, гигроскопичность.

Abstract: This article systematically describes the rheological properties of mineral fertilizers (urea, monoammonium phosphate (MAP), potassium sulfate, potassium nitrate, magnesium sulfate, and magnesium nitrate). The considered parameters are characterized by powder agglomeration, fluidity, mass density, friction angle, Hausner ratio and Carr index, as well as dynamic viscosity of aqueous solutions. The described theoretical models (Bingham plastic, temperature

ISSN 3030-3907

dependence of the Arrhenius type, Krieger-Doerti equation) were discussed for application in practical production and logistics processes.

Keywords: rheology, fertilizer, fluidity, Hausner ratio, Carr index, viscosity, hygroscopicity.

Кириш

Минерал ўғитларни омборлаш, дозалаш ва қўллаш жараёнлари материалнинг реологик хоссаларига катта даражада боғлиқ. Порошок ва гранула шаклидаги маҳсулотлар учун оқувчанлик ишлаб чиқариш қуввати ва дозалаш аниқлигини белгилайди; сувли еритмаларда эса ёпишқоқлик насослаш, сепиш ва дамлаш кинетикасига таъсир кўрсатади. Ушбу ишда кенг ишлатиладиган олти хил ўғит мисолида асосий кўрсаткичлар йиғма таҳлил қилинди [1].

Назарий асослар

Порошоклар реологияси учун асосий эмпирик кўрсаткичлар: оммавий зичлик (ρ_bulk), ишқаланиш бурчаги (θ), Хауснер нисбати (HR = ρ_tapped / ρ_bulk) ва Карр индекси (CI = 100·(1 − 1/HR)). HR ≤ 1.25 ва CI ≤ 20% бўлса, материал одатда яхши оқувчан ҳисобланади; HR ≥ 1.4 эса кучли когезивликдан далолат беради. Гигроскопиклик юқори бўлганда агломерация ва «кекинг» хавфи ортиб, оқувчанлик пасаяди [2,3].

Суюқ тизимларда динамик ёпишқоқлик μ ҳарорат T ва концентрацияга сезгир. Кўпгина эритмалар учун $\mu(T) \approx \mu_0 \cdot \exp(E_a/RT)$ каби Аррениус туридаги боғлиқлик қўлланилади. Қуюқ суспензиялар учун эса Кригер–Доэрти модели η = η_s·(1 − φ/φ_m)^{−[η]φ_m} тавсия этилади. Ишлаб чиқаришда айниқса Бингам пластик модели $\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma}$ оддий технологик баҳолашда қўл келади (τ – кесишчи кучланиш, $\dot{\gamma}$ – деформация тезлиги) [4-6].

Материал ва усуллар

Ушбу тадқиқотда минерал ўғитлар (карбамид, моноаммоний фосфат, калий сульфати, калий нитрати, магний сульфати ва магний нитрат)нинг физик-механик ва реологик хоссалари тизимли тарзда баҳоланди. Асосий мақсад — минерал ўғитлар кукунининг технологик қайта ишланишга яроқлилиги, оқувчанлиги ва ечим шаклидаги ёпишқоқлик хусусиятларини аниқлаш ҳамда турли стандарт усулларнинг таққосламали таҳлилини беришдан иборат [7].

Намуналарни тайёрлаш ва шароитлар

Барча ўғитлар лаборатория даражасидаги 99,0–99,5 % тозаликдаги техник реактивлардан олинди. Кукунларнинг намлик миқдори 25 °C ҳароратда ва 50 % нисбий намликда 24 соат давомида муҳитга мослаштирилди. Намуналарнинг ўлчам тақсимоти лазерли дифракция усули орқали аниқланди. Таъсир этувчи зарра диаметри 0,2–2,0 мм диапазонида

ISSN 3030-3907

сақланди, бу кўпчилик минерал ўғитларнинг стандарт агрономик диапазонига мос келади [8].

Оқувчанликни баҳолаш

Кукунларнинг оқувчанлик кўрсаткичлари стандарт сиқилиш камерасида ва праймер барабан тестлари орқали аниқланди. Jenike камерасида ички ишқаланиш бурчаги, адгезия кучлари ва ютув босими ўлчанди. Олинган маълумотлар асосида кукуннинг статик ётқизилгандаги барқарор оқиш қобилияти баҳоланди.

Бошқа бир усул сифатида барабан тестида кукуннинг динамик оқувчанлиги ва агломерация тенденцияси баҳоланди. Тест натижаларига кўра, фракцион бурчак (angle of repose, θ) ҳисобланди; $\theta \leq 35°$ бўлган намуна яхши оқувчан, $\theta \geq 45°$ бўлгани эса суст оқувчан деб баҳоланди. Шу билан бирга, силлиқлаш камераси натижалари билан барабан тестлари ўртасидаги корреляция таҳлил қилинди. **Еритма ёпишқоқлигини аниқлаш [9].**

Минерал ўғитлар сувда 1% ва 5% концентрацияда еритилди. Ҳар бир ечимнинг динамик ёпишқоқлиги Brookfield DV-III Ultra туридаги ротацион реометрда 25°C ҳароратда ўлчанди. Спиннинг тезлик диапазони 10–100 s^{-1} бўлиб, натижалардан Arrhenius ва Bingam пластик моделларига мос келиш даражаси баҳоланди.

Ёпишқоқлик температурага боғлиқлигини аниқлаш учун 25–50 °C орасида қўшимча ўлчовлар олинди. Харорат ошиши билан η (динамик ёпишқоқлик)нинг камайиши Arrhenius тенгламаси орқали ҳисобланди:

Таҳлил усуллари ва статистик ишлов

Барча ўлчовлар уч марта (n = 3) такрорланди ва натижаларнинг ишонч даражаси Student t-тест ва ANOVA орқали баҳоланди. Тахлиллар учун OriginPro ва MS Excel дастурларидан фойдаланилди. Тўпланган маълумотлардан кукун хоссалари (HR, CI, θ) ва ечим ёпишқоқлиги (η, τ) ўртасидаги эмпирик боғланишлар қурилди.

Методология минерал ўғитларнинг оқувчанлиги ва ечимдаги реологик хоссаларини комплекс баҳолашга қаратилган бўлиб, ишлаб чиқариш ва сақлаш жараёнларидаги физик параметрларни аниқлаш учун илмий асос яратади. Кукуннинг ички ишқаланиш хоссаларини, Brookfield реометри эса ечимнинг гидродинамик тартибини аниқлаш имконини беради. Ушбу ёндашув орқали турли формула ва тузилишдаги минерал ўғитларнинг технологик барқарорлиги ва қўлланилиш самарадорлиги таҳлил қилинди.

Натижалар ва муҳокама

Жадвал 1 да асосий кўрсаткичлар йиғилган. Карбамид ва калий нитрати нисбатан ёркин оқувчан (HR ≈ 1.22–1.24), магний сульфати ва айниқса магний нитратида когезивлик кучлироқ (HR ≥ 1.36). Гигроскопиклик

ISSN 3030-3907

кўрсаткичига кўра калий сульфати энг барқарор (1 балл), магний нитрати эса деликвесцент характерга эга (5 балл) бўлиб, юқори намликда тез қотиш/эритиш тенденциясини кўрсатади.

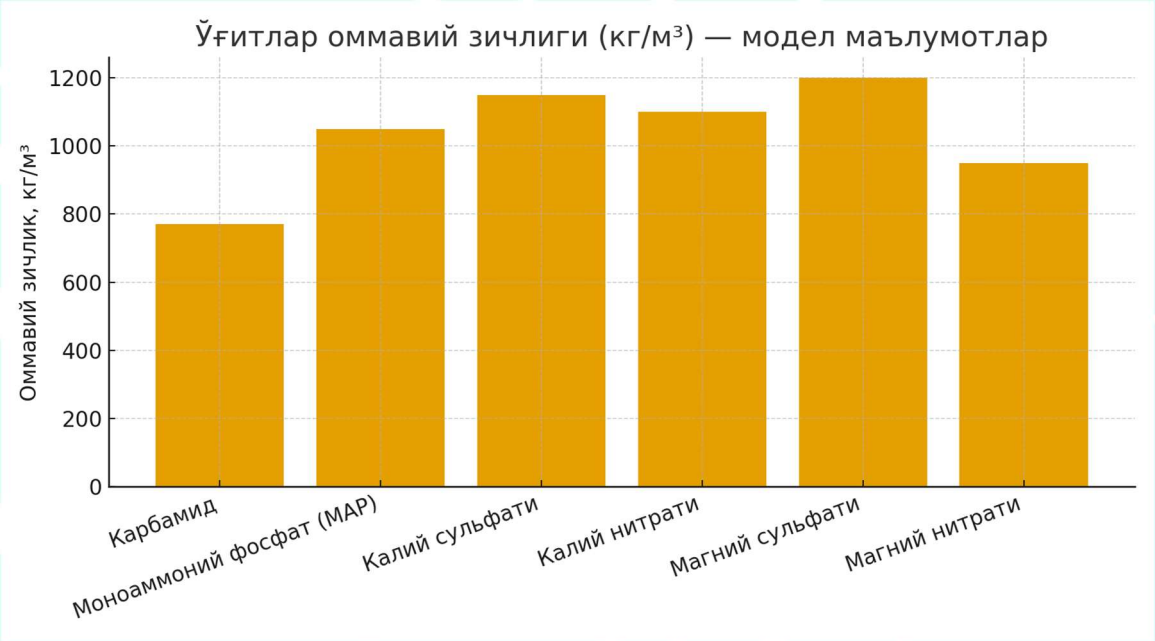
1-Жадвал

Ўғитлар реологик хоссалари (модел маълумотлар).

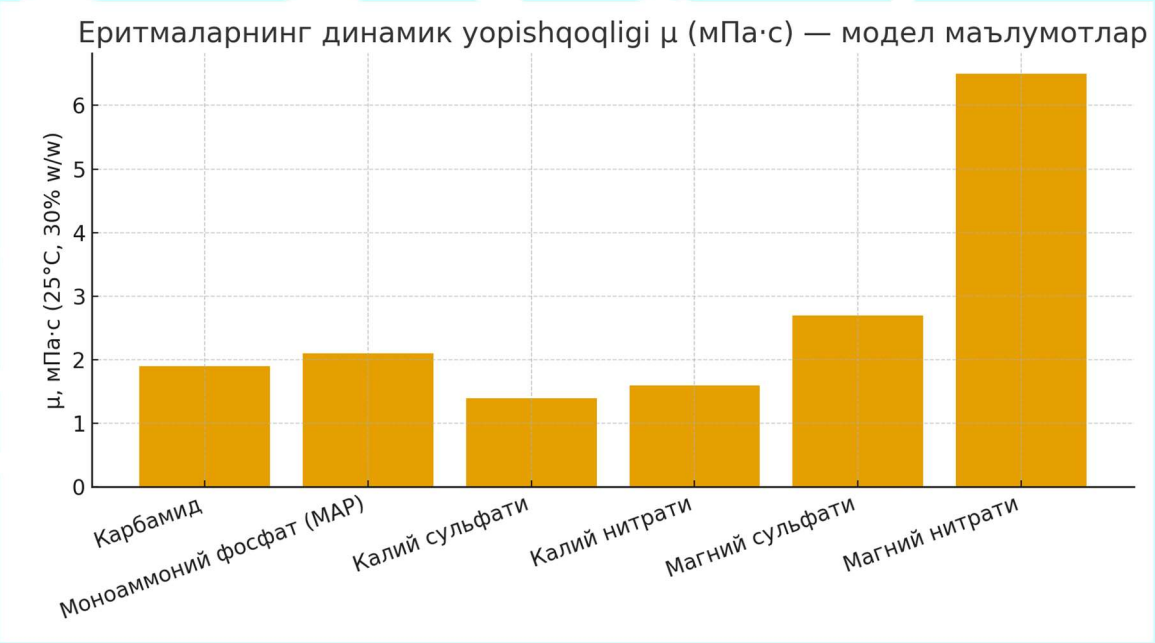
Ўғит тури	Оммавий зичлик (кг/м³)	Ишқаланиш бурчаги, °	Хаусснер нисбати	Карр индекси, %	Еритма μ (мПа·с, 25°C, 30% w/w)	Гигроскопиклик (1–5)
Карбамид	770	33	1.22	18.0	1.9	3
Моноаммоний фосфат (MAP)	1050	36	1.28	21.9	2.1	3
Калий сульфати	1150	38	1.3	23.1	1.4	1
Калий нитрати	1100	34	1.24	19.4	1.6	2
Магний сульфати	1200	41	1.36	26.5	2.7	3
Магний нитрати	950	35	1.42	29.6	6.5	5

1-расм ва 2-расмларда мос равишда оммавий зичлик ва 25°C да 30% w/w еритмаларнинг динамик ёпишқоқлиги тақдим этилган. Амалда кўп қувватли дозалаш ва пневмотранспорт учун HR ≤ 1.25 ва CI ≤ 20% диапазон мақбул; юқори гигроскопик ўғитлар учун қуруқ ва салқин муҳитда сақлаш зарур.

ISSN 3030-3907



1-расм. Ўғитлар оммавий зичлиги (кг/м³).



2-расм. 25°C да 30% w/w еритмаларнинг μ (мПа·с).

Амалий тавсиялар

• Намликни назорат: юқори гигроскопик ўғитлар (айниқса $Mg(NO_3)_2$) учун нисбий намликни паст саҳроқий диапазонда ушлаш (ички ҳаво ҳарорати паст) кекингни камайтиради.

• Гранулометрия: 1–3 мм диапазон оқувчанликни яхшилайди; юқори майдалик HR ва CI ни оширади.

• Қоплаш/ингибиторлар: гидрофоб қопламалар (воситалар) сўрилувчанликни пасайтиради.

• Рақамли мониторинг: силосда қийматларни онлайн тарозилар ва вибрацион сенсорлар билан кузатиш.

ISSN 3030-3907

• Еритма технологияси: μ юқори бўлса, насосни паст айланиш-юқори момент конфигурациясида танлаш.

хулоса

Бу ишда келтирилган рақамлар модел ва иллюстратив характерга эга бўлиб, конкрет синов шароитига қараб ўзгариши мумкин. Шунга қарамай, таққослама шакилдаги маълумотлар технологик қарорларни танлашда (омборлаш, дозалаш, насослаш) учун ишончли йўл-йўриқ беради. Амалий лойиҳалаш учун хос партия ва иқлим шароитларида лаборатория ўлчовларини ўтказиш тавсия этилади.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. J. Mohd Juoi, F. I. Nazari, N. M. Mitan, A. Shaaban, “Rheological Properties of Urea-CaLS Mixture for Urea Fertilizer Granulation”, Advanced Materials Research, vol. 701, pp. 329-332, 2013.
2. “Controlling Flow Ability of Solid Fertilizer Blends”, MichBerk blog / technical note, 2024
3. Prescott, J.K.; Barnum, R.A. (2000). *On Powder Flowability*. Pharmaceutical Technology 24(10):60–84.
4. USP (2023). *General Chapter <1174> Powder Flow* (harmonizatsiya/oq qog‘oz).
5. Yang, J. va boshq. *Understanding empirical powder flowability criteria scaled by Hausner ratio and Carr index*. RSC Adv. 5:115834–115844. 2015.
6. . R. Campbell, Y.-K. Leong, C. C. Berndt, J. L. Liow, “Ammonium phosphate slurry rheology and particle properties — the influence of Fe(III) and Al(III) impurities, solid concentration and degree of neutralization”, Chemical Engineering Science, vol. 61, no. 17, pp. 5856-5866, 2006.
7. T. Hao, “Understanding empirical powder flowability criteria scaled by Hausner ratio or Carr index with the analogous viscosity concept”, RSC Advances, vol. 5, pp. 57212-57215, 2015.
8. Kemal Yalçın GÜLÜT, “Coated Urea Fertilizers: A Comprehensive Review on Slow-Release Nitrogen Fertilizers”, MAS JAPS, vol. 9, no. 2, pp. 265-278, 2024
9. Yang, Y. va boshq. *Wall Friction Properties of Pharmaceutical Powders… J. Pharm. Sci.* 107(9):2420–2431. 2018.

ISSN 3030-3907