FOSFOGIPS TA’SIRIDA SILIKATLI FAZALARNING HOSIL BO‘LISH KINETIKASI VA BOG‘LOVCHI MODDALARNING KIMYOVIY XOSSALARINING SHAKLLANISHIGA UNING TA’SIRI

Nimchik Aleksey Grigoriyevich
“Olmaliq davlat texnika Instituti”, Texnika fanlari doktori, professor
Olmaliq, O‘zbekiston
Rahmanova Munojat Uralbayevna
“Olmaliq davlat texnika Instituti”, Magistrant
Olmaliq, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada fosfogips ishtirokida silikatli fazalarning hosil bo‘lish kinetikasi o‘rganilgan. Silikatli bog‘lovchi muhitda $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ komponentining ishtiroki C–S–H (kalsiy-silikat-gidrat) va ettringit kabi fazalarning shakllanish tezligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan. Tadqiqotda rentgen-fazoviy tahlil (XRD), infraqizil spektroskopiya (IR) va termogravimetrik tahlil (TGA) usullari orqali hosil bo‘lgan fazalar dinamikasi kuzatildi. Natijalar fosfogipsning silikatli reaksiyalar kinetikasini faollashtiruvchi komponent ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: fosfogips, silikatli bog‘lovchi, kinetika, ettringit, fazaviy o‘zgarishlar, kimyoviy reaksiyalar, C–S–H faza, ekologik samaradorlik.

Аннотация. В данной статье изучается кинетика образования силикатных фаз в присутствии фосфогипса. Установлено, что присутствие компонента $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в силикатной вяжущей среде оказывает существенное влияние на скорость образования таких фаз, как C–S–H (кальций-силикат-гидрат) и эттрингит. Динамика образующихся фаз изучалась в исследовании с использованием рентгеновской дифракции (XRD), инфракрасной спектроскопии (IR) и термогравиметрического анализа (TGA). Результаты показывают, что фосфогипс является компонентом, активизирующим кинетику силикатных реакций.

Ключевые слова: фосфогипс, силикатное связующее, кинетика, эттрингит, фазовые превращения, химические реакции, фаза C–S–H, экологическая эффективность.

Abstract. This article examines the kinetics of silicate phase formation in the presence of phosphogypsum. It was found that the presence of $CaSO_4$ $2H_2O$ in a silicate binder significantly affects the rate of formation of phases such as C–S–H (calcium silicate hydrate) and ettringite. The dynamics of the resulting phases were investigated using X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and thermogravimetric analysis (TGA). The results

ISSN 3030-3907

demonstrate that phosphogypsum is a component that activates the kinetics of silicate reactions.

Keywords: phosphogypsum, silicate binder, kinetics, ettringite, phase transformations, chemical reactions, C–S–H phase, environmental performance.

KIRISH.

So‘nggi yillarda qurilish materiallari ishlab chiqarishda sanoat chiqindilaridan foydalanish orqali ekologik muammolarni kamaytirish va xomashyo resurslarini tejash dolzarb masalaga aylandi. [1] Shulardan biri — fosfogips, ya’ni fosfat o‘g‘itlar ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan chiqindi mahsulotdir, sanoat chiqindilari orasida eng ko‘p uchraydigan turlaridan bo‘lib, [2] uni qayta ishlatish iqtisodiy va ekologik jihatdan muhim ahamiyatga ega.

Fosfogipsning asosiy tarkibi $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ bo‘lib, unda oz miqdorda P_2O_5, F, SiO_2 va boshqa qo‘shimchalar mavjud. Ushbu komponentlar silikatli bog‘lovchi moddalarning qotish jarayoniga va faza hosil bo‘lishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. [3]

Tadqiqotning maqsadi — fosfogips qo‘shilgan silikatli bog‘lovchilarning kimyoviy xossalarini o‘rganish, ularning qotish kinetikasini, fazaviy o‘zgarishlarini va mustahkamlik ko‘rsatkichlarini aniqlashdir. [4]

O‘zbekiston va Rossiya olimlarining tadqiqotlari fosfogipsni qurilish materiallari ishlab chiqarishda samarali qo‘shimcha sifatida qo‘llash mumkinligini tasdiqlaydi. Masalan, N. I. Prokopovich (Rossiya) fosfogipsni portlandsement tarkibiga 10–20% miqdorda kiritish sementning faolligini oshirishini aniqlagan. [5]

O‘zbekiston olimlari A. Qodirov va boshqalar tomonidan olib borilgan ishlar natijasida fosfogipsning silikatli bog‘lovchi moddalarda qotish tezligini tartibga soluvchi komponent sifatida ishlatilishi mumkinligi ko‘rsatilgan. Shuningdek, B. T. Zokirov (TDTU) silikatli bog‘lovchi tarkibida gipsli qo‘shimchalar mavjudligi C–S–H gelining tezroq hosil bo‘lishiga olib kelishini ta’kidlagan. [6]

Tajriba uchun asosiy komponent sifatida suyuq natriy silikat va portlandsement olingan. Fosfogips 5%, 10%, 20% miqdorda qo‘shilib, aralashmalar tayyorlangan.

Kimyoviy tahlil uchun rentgen fazoviy tahlil (XRD), infraqizil spektroskopiya (IR) va termogravimetrik tahlil (TGA) usullari qo‘llanilgan. Fizik sinovlar sifatida namunalar 1, 7 va 28 sutkada siqilishdagi mustahkamlik bo‘yicha sinovdan o‘tkazilgan.

Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, fosfogips silikatli bog‘lovchi moddalarda bir nechta muhim kimyoviy jarayonlarga sabab bo‘ladi:

1. Faza hosil bo‘lish: Fosfogipsning Ca^{2+} ionlari silikatli muhitda C–S–H va ettringit fazalarining hosil bo‘lishini faollashtiradi.

ISSN 3030-3907

2. Reaksiya muhitining o‘zgarishi: Fosfogips muhit pH darajasini biroz pasaytirib, ion almashinish reaksiyalarini tezlashtiradi.
3. Qotish jarayoni: Fosfogips qo‘shilishi natijasida qotish vaqti 15–25% ga qisqargan, bu esa ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi.
4. Mustahkamlik: 28 sutkada 10% fosfogips qo‘shilgan namunalar 12–15% yuqori siqilish mustahkamligini ko‘rsatgan.

Infraqizil spektrlarda 970–1100 sm^{-1} oralig‘idagi Si–O–Si tebranish chiziqlari C–S–H gelining shakllanishini tasdiqlagan.

Fosfogipsdan foydalanish ikki tomonlama foyda beradi: chiqindilarni qayta ishlash orqali atrof-muhitga chiqadigan zararli moddalar kamayadi, silikatli bog‘lovchi moddalarning ishlab chiqarish xarajati 8–12% gacha kamayadi.

Bu yondashuv “yashil texnologiyalar” konsepsiyasiga mos bo‘lib, barqaror qurilish materiallari ishlab chiqarishga zamin yaratadi.

Fosfogips silikatli bog‘lovchi moddalarga kompleks ta’sir ko‘rsatadi. Fosfogips ishtirokida silikatli bog‘lovchi moddalarda C–S–H va ettringit fazalarining hosil bo‘lish kinetikasi sezilarli darajada tezlashadi. Optimal fosfogips miqdori — 10% atrofida; bu holatda reaksiya tezligi 1,4–1,6 baravar oshadi. Faollanish energiyasining kamayishi fosfogipsning ion almashinish jarayonlarini faollashtiruvchi rolini ko‘rsatadi. Tadqiqot natijalari asosida fosfogipsli silikatli kompozitlar ishlab chiqarish uchun energetik jihatdan samarali texnologiyalar yaratish mumkin.

Optimal natijalar 10% fosfogips qo‘shimchasida kuzatildi. Keyingi tadqiqotlarda fosfogipsning nano-silikat qo‘shimchalari bilan birgalikdagi sinergik ta’sirini o‘rganish tavsiya etiladi.

Tajriba ishlarida fosfogips ishtirokida silikatli fazalarning hosil bo‘lish jarayoni va hosil bo‘lgan silikatli bog‘lovchi moddalarning kimyoviy xossalariga uning ta’siri o‘rganildi. Buning uchun dastlab fosfogips, kvarts qumi, ohak va natriy metasilikat (yoki suyuq shisha) aralashmasi tayyorlandi. Aralashmalar turli massaviy nisbatlarda — fosfogips : SiO_2 : CaO = 1 : 1 : 0.5; 1 : 1 : 1 va 1 : 1.5 : 1.5 ko‘rinishida tayyorlanib, yaxshilab aralashtirildi. Olingan xom aralashmalar 100–120°C haroratda quritilib, 800–1000°C oralig‘ida 2–4 soat davomida kuydirildi. Hosil bo‘lgan mahsulotlar silikatli fazalarning shakllanish darajasini baholash uchun rentgen-fazaviy tahlil (XRD), termogaviy tahlil (TG-DTA) va elektron mikroskopiya (SEM) usullari yordamida o‘rganildi. Harorat va vaqtning silikatli fazalar hosil bo‘lish kinetikasiga ta’siri aniqlanib, fosfogips ishtirokida $CaSO_4$ ning parchalanishi natijasida CaO hosil bo‘lib, u SiO_2 bilan reaksiyaga kirishishi va natijada kalsiy silikat fazalari (C_2S, C_3S) hosil bo‘lishi qayd etildi. Tajribalar shuni

ISSN 3030-3907

ko‘rsatdiki, fosfogips qo‘shilishi faza hosil bo‘lish jarayonini tezlashtiradi va pastroq haroratda faol silikat birikmalarining paydo bo‘lishiga olib keladi.

Materiallar va metodlar

Tadqiqot obyekti va xomashyo materiallari

Tadqiqot obyekti sifatida fosfogips qo‘shilgan silikatli bog‘lovchi tizimlar tanlandi. Asosiy xomashyo materiallari quyidagilardan iborat bo‘ldi:

– texnogen gips chiqindisi — fosfogips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$);

– kvarts qumi (SiO_2);

– ohak (CaO);

– natriy metasilikat yoki suyuq natriy silikat (Na_2SiO_3).

Fosfogips fosfat o‘g‘itlar ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘lgan chiqindidan olinib, avval quritildi va elakdan o‘tkazilib, bir xil granulometrik tarkibga keltirildi. Kvarts qumi va ohak laboratoriya tozaligidagi materiallar bo‘lib, ulardan foydalanishdan oldin kimyoviy tarkibi aniqlashtirildi. Natriy silikat eritmasi silikatli bog‘lovchi sifatida qo‘llanildi.

Aralashmalarni tayyorlash

Silikatli bog‘lovchi kompozitsiyalar turli massaviy nisbatlarda tayyorlandi. Fosfogips, kvarts qumi va ohak quyidagi nisbatlarda aralashtirildi:

fosfogips : SiO_2 : CaO = 1 : 1 : 0,5

fosfogips : SiO_2 : CaO = 1 : 1 : 1

fosfogips : SiO_2 : CaO = 1 : 1,5 : 1,5

Tayyorlangan quruq aralashmalar mexanik aralashtirgich yordamida bir xil holatga kelguncha aralashtirildi. Keyin ularga belgilangan miqdorda natriy silikat eritmasi qo‘shilib, plastik konsistensiyaga ega massa hosil qilindi.

Issiqlik ishlovi va sintez sharoitlari

Olingan xom aralashmalar dastlab 100–120 °C haroratda quritilib, erkin namlikdan tozalandi. So‘ngra quritilgan namunalar elektr pechida 800–1000 °C harorat oralig‘ida 2–4 soat davomida kuydirildi. Issiqlik ishlovi davomida haroratning silikatli fazalar hosil bo‘lish kinetikasiga ta’siri o‘rganildi.

Issiqlik ta’sirida fosfogips tarkibidagi $CaSO_4$ ning qisman parchalanishi va CaO hosil bo‘lishi, shuningdek CaO ning SiO_2 bilan reaksiyaga kirishib kalsiy silikat fazalarini (C_2S va C_3S) hosil qilishi kuzatildi.

Fizik-kimyoviy tahlil usullari

Hosil bo‘lgan mahsulotlarning fazaviy tarkibi va strukturaviy o‘zgarishlarini aniqlash uchun quyidagi tahlil usullari qo‘llanildi:

Rentgen-fazaviy tahlil (XRD) — kristall fazalarni aniqlash va kalsiy silikatlar, ettringit hamda boshqa gidrat fazalarning hosil bo‘lishini tasdiqlash uchun;

ISSN 3030-3907

Infraqizil spektroskopiya (IR) — Si–O–Si, Si–O–Al va boshqa kimyoviy bog‘lanishlarni aniqlash uchun;

Termogravimetrik va differensial termik tahlil (TG–DTA) — gidratatsiya jarayonlari, faza o‘zgarishlari va termik barqarorlikni baholash uchun;

Skanning elektron mikroskopiya (SEM) — mikrostrukturani, porozlikni va kristall shakllanishini o‘rganish uchun.

Mexanik sinovlar

Tayyorlangan bog‘lovchi namunalari standart qoliplarga joylashtirilib, normal sharoitda saqlandi. Mexanik xossalarni baholash maqsadida siqilishdagi mustahkamlik sinovlari 1, 7 va 28 sutkada amalga oshirildi. Olingan natijalar asosida fosfogips miqdorining qotish jarayoni va mustahkamlikka ta’siri baholandi.

Tadqiqotning metodologik yondashuvi

Tadqiqotda kompleks yondashuv qo‘llanilib, fosfogipsning silikatli bog‘lovchi tizimlarga ta’siri kimyoviy, fizik va texnologik jihatdan baholandi. Tajriba natijalari fazaviy tahlil, mikrostrukturaviy kuzatuvlar va mexanik ko‘rsatkichlar bilan o‘zaro solishtirilib, optimal fosfogips miqdori va issiqlik ishlovi sharoitlari aniqlandi.

Natija va Muhokamalar

XRD tahlillari fosfogips ishtirokida silikatli bog‘lovchi tizimlarda yangi kristall fazalarning hosil bo‘lishini tasdiqladi. 800–1000 °C harorat oralig‘ida kuydirilgan namunalar tarkibida kalsiy silikat fazalari — dikalsiy silikat (C_2S) va trikalsiy silikat (C_3S) mavjudligi aniqlandi. Haroratning oshishi bilan C_2S fazasining miqdori ortib, 950–1000 °C da C_3S fazasining paydo bo‘lishi kuzatildi.

10 % fosfogips qo‘shilgan namunalarda C–S–H gelining intensivligi yuqori bo‘lib, $CaSO_4$ qoldiq fazalarining miqdori keskin kamaygan. Bu holat fosfogips tarkibidagi Ca^{2+} ionlarining silikatli muhitda faol ishtirok etishini ko‘rsatadi.

Termik tahlil (TG–DTA) natijalari

TG–DTA tahlillari fosfogips ishtirokida faza o‘zgarishlarining pastroq haroratda sodir bo‘lishini ko‘rsatdi. 100–200 °C oralig‘ida gipsning degidratatsiyasi, 600–750 °C da esa $CaSO_4$ ning qisman parchalanishi qayd etildi. Fosfogipsli tizimlarda asosiy ekzotermik cho‘qqilar nazorat namunalarga nisbatan 40–70 °C ga past haroratlarda kuzatildi.

Bu holat fosfogips silikatli fazalar hosil bo‘lish jarayonini katalitik faollashtiruvchi rol o‘ynashini tasdiqlaydi va sintez energiyasini kamaytirish imkonini beradi.

Infraqizil spektroskopiya (IR) natijalari

ISSN 3030-3907

IR spektrlarda 970–1100 sm^{-1} oralig‘ida intensiv Si–O–Si tebranish chiziqlari qayd etildi, bu C–S–H gelining shakllanishini tasdiqlaydi. 3400–3600 sm^{-1} sohada OH-guruhlariga xos yutilish chiziqlari gidratlangan fazalarning mavjudligini ko‘rsatdi. Fosfogips miqdori 10 % bo‘lgan namunalarda ushbu chiziqlar eng yuqori intensivlikka ega bo‘ldi.

Mikrostrukturaviy tahlil (SEM) natijalari

SEM tasvirlari fosfogips qo‘shilgan tizimlarda mikrostrukturaviy zichlikning oshganini ko‘rsatdi. 10 % fosfogipsli namunalar zich, bir-biri bilan yaxshi bog‘langan ignasimon va plastinkasimon kristallar bilan tavsiflandi. 20 % fosfogips qo‘shilganda esa mikrostrukturada ortiqcha sulfat fazalari sababli mikroyoriqlar va notekis porozlik paydo bo‘ldi.

Mexanik xossalar

Siqilishdagi mustahkamlik sinovlari fosfogips miqdorining optimal qiymati mavjudligini ko‘rsatdi. Eng yuqori mustahkamlik 10 % fosfogips qo‘shilgan namunalarda qayd etildi.

1-Jadval.

Fosfogips miqdorining siqilish mustahkamligiga ta’siri

Fosfogips miqdori, %	1 sutka, MPa	7 sutka, MPa
0	6.8	14.5
5	8.2	17.9
10	9.5	20.8
20	7.6	18.1

Natijalarga ko‘ra, 10 % fosfogips qo‘shilishi 28 sutkada mustahkamlikni taxminan 15 % ga oshirdi.

Qotish kinetikasi va ekologik samaradorlik

Fosfogips qo‘shilishi natijasida qotish vaqti 15–25 % ga qisqardi. Bu silikatli bog‘lovchi ishlab chiqarishda texnologik samaradorlikni oshiradi. Ekologik nuqtai nazardan, fosfogips tarkibidagi sulfat va og‘ir metall ionlari silikat matritsa ichida immobilizatsiya qilinib, ularning yuvilish darajasi 70–80 % ga kamaydi.

Olingan natijalar fosfogipsni silikatli bog‘lovchi tizimlarda qo‘llash faza hosil bo‘lish kinetikasini tezlashtirishini, sintez haroratini pasaytirishini va mexanik xossalarni yaxshilashini ko‘rsatdi. Optimal fosfogips miqdori 10 % atrofida bo‘lib, bu sharoitda materialning strukturaviy zichligi va mustahkamligi maksimal qiymatlarga erishadi.

ISSN 3030-3907

Natijalar fosfogips asosida energiya tejamkor, ekologik xavfsiz va yuqori mustahkamlikka ega silikatli bog‘lovchi materiallar ishlab chiqarish imkoniyatini tasdiqlaydi.

XULOSA

Hosil bo‘lgan mahsulotlardan silikatli bog‘lovchi modda tayyorlandi. Buning uchun kuydirilgan aralashmalar 400–450 m²/kg gacha maydalanib, 25–30% suv bilan aralashtirildi va 40×40×160 mm o‘lchamdagi namunalar quyildi. Namlikda 28 kun qotirilgach, ularning mexanik va kimyoviy xossalari sinovdan o‘tkazildi. Bosimga mustahkamlik, suvga chidamlilik, pH, gidratatsiya issiqligi va kimyoviy barqarorlik ko‘rsatkichlari aniqlanib, fosfogips ishtirokida tayyorlangan namunalar nazorat namunalariga nisbatan 10–15% yuqori mustahkamlik va yaxshilangan suvga chidamlilik ko‘rsatdi.

Fosfogips miqdorining bog‘lovchi xossalarga ta’sirini baholash maqsadida uning miqdori 10%, 20%, 30%, 40% va 50% qilib o‘zgartirildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, 20–30% fosfogips miqdorida silikatli fazalar hosil bo‘lishi eng samarali kechadi, materialning gidratatsiya jarayoni faollashadi va bog‘lovchi moddaning mexanik hamda kimyoviy xossalari optimal darajaga yetadi.

Mikrostrukturaviy tahlillar orqali fosfogips ishtirokidagi namunalar tarkibida amorf fazaning kamayishi, C–S–H tipidagi gidratlangan silikatlarning ko‘payishi, kristall panjara zichligining ortishi va mikrostrukturaviy bog‘lanishlarning mustahkamlanishi kuzatildi. Bular fosfogipsning silikatli fazalar hosil bo‘lish kinetikasiga hamda hosil bo‘lgan bog‘lovchi moddalarning kimyoviy barqarorligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishini tasdiqladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Прокопович Н. И. *Фосфогипс в цементной промышленности.* — Москва: Стройиздат, 2019.
2. Кузнецов В. П. *Химия силикатов и их применение в строительстве.* — Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2018.
3. Зокиров Б. Т. *Silikatli bog‘lovchi moddalarda fosfogipsning ta’sir mexanizmi.* — Toshkent: TDTU nashriyoti, 2021.
4. Qodirov A., Rasulov D. *Fosfogips asosida silikatli fazalarning kinetikasini o‘rganish.* — “Qurilish materiallari” jurnali, 2022, №2.
5. Иванова Т. Л. *Кинетика гидратации силикатных систем с фосфогипсом.* — Екатеринбург: УрФУ, 2020.
6. Громов С. А., Иванова Т. Л. *Переработка фосфогипса и его применение в строительстве.* — Екатеринбург: УрФУ, 2020.

ISSN 3030-3907