



UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

CHUST TRAVERTINI VA G'O'ZAPOYA KULI ASOSIDAGI KO'P KOMPONENTLI PORTLANDSEMENT TIZIMLARINING SINTEZI HAMDA MIKROTUZILISH TAHLILI

Muhammadxonova G.Z., talaba

Li Yuanbo., magistr

Mirzamahmudov N.N., magistr

Najmiddinov R.Yu. dotsent

Namangan davlat texnika universiteti

Annotatsiya: Ushbu ilmiy maqolada Chust konining tabiiy karbonatli jinslari (travertin), agro-sanoat chiqindisi hisoblangan g'o'zapoya kuli hamda portlandsement klinkeri tizimida yuqori samarali kompozitsion gidravlik bog'lovchi materiallar sintez qilish imkoniyatlari va fizik-kimyoviy asoslari tadqiq etilgan. Travertin mineralogik faza arxitektonikasidagi kalsiy karbonat (CaCO_3) hamda paxta poyasi kulining amorf-kristallik strukturasidagi aktiv kremniy dioksidi (SiO_2) komponentlarining portlandsement klinkeri minerallari bilan gidratatsiya jarayonidagi o'zaro paragenetik ta'sir mexanizmlari tegishli kimyoviy va gidrotermal reaksiyalar yordamida ilmiy asoslab berilgan. Eksperimentlar samaradorligini ta'minlash maqsadida ko'p omilli tarkiblar rejasi (matritsasi) ishlab chiqilib, yakuniy konglomeratning kutilayotgan mikrostresslik ko'rsatkichlari hamda tizimdagi destruktiv xavf-xatarlar muhokama qilingan. Mahalliy mineral resurslar va texnogen kofillardan kompleks foydalanish sement sanoatida qimmatbaho klinker ulushini optimallashtirishga, energiya sarfini tejashga va atmosferaga ajraladigan uglerod angidrid (CO_2) emissiyasini keskin kamaytirishga xizmat qiladi.

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY international scientific conference

Tayanch soʻzlar: kompozitsion bogʻlovchi, Chust travertini, gʻoʻzapoya kuli, portlandsement klinkeri, gidratatsiya kinetikasi, faol kremniy dioksidi, agro-sanoat chiqindisi, klinker tejamkorlik, CO₂ emissiyasi.

Kirish. Global miqyosda uglerod angidrid emissiyasining taxminan 7–8 % qismi sement sanoati hisobiga toʻgʻri keladi. Klinker pishirishda ohaktoshning termik parchalanishi tufayli 1 tonna mahsulotga qariyb 0,51 tonna texnologik (CO₂) ajraladi. Ushbu ekologik yuklamani kamaytirishning eng samarali yechimi sement klinkeri ulushini faol mineral qoʻshimchalarga almashtirishdir.

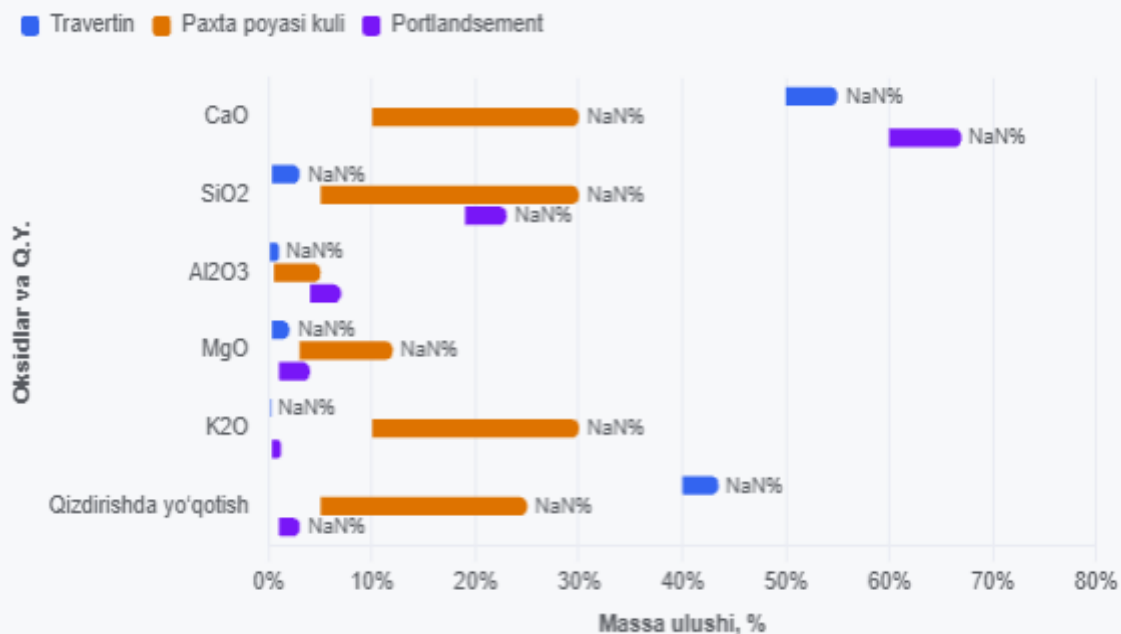
Tadqiqotda kalsiy karbonatga boy Chust travertini hamda tarkibida yuqori miqdorda faol kremniy boʻlgan paxta poyasi kulidan kompleks foydalanish maqsad qilingan. Ushbu uch komponentli tizimda portlandsement asosiy karkas vazifasini oʻtasa, travertin kalsiy manbai, agro-chiqindi kuli esa silikat komponenti sifatida paragenetik bogʻlanishni taʼminlaydi.

Ishning maqsadi — mazkur komponentlar asosida kompozit bogʻlovchi material olish texnologiyasi va xomashyolarni optimal nisbatlarda aralashtirishning kimyoviy asoslarini tahlil qilishdir. Asosiy xomashyo namunalarining taxminiy oksid tarkibi 1-rasmida jamlangan.

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

1-rasm. Xomashyo komponentlarining kimyoviy-oksidi tarkibi va o'zgarish diapazonlari, %



Ushbu grafik tahlil aralashmaning gibridd faolligini yaqqol ko'rsatadi. **Portlandsement** va **Chust travertini** kompozit tizimda asosiy kalsiy (CaO) matritsasini barpo etsa, **paxta poyasi kuli** tarkibidagi amorf SiO₂ (5–30%) va ishqoriy K₂O (10–30%) elementlari gidratatsiyani tezlashtiruvchi faol mineral qo'shimcha vazifasini o'taydi. Natijada sement toshining mexanik mustahkamligini ta'minlovchi qo'shimcha kalsiy gidrosilikat (C-S-H) gellari hosil bo'lishi uchun optimal geokimyoviy muhit shakllanadi.

Travertin — asosan kalsit mineralidan (CaO — 56,03 %, CO₂ — 43,97 %) tarkib topgan g'ovak karbonatli jins bo'lib, tarkibida oz miqdorda magniy karbonat va kvars saqlaydi. Uning yuqori g'ovakligi kompozit aralashmaning dastlabki suv talabchanligini oshirishi mumkin.

G'ozapoya kuli tarkibida K₂O, CaO, MgO va SiO₂ oksidlar tizimi mavjud. Guruch qipig'iga nisbatan kremniy miqdori kam, kaliy ulushi esa yuqoriligi sababli u sirtqi faol pozzolan hisoblanmaydi; uning bog'lovchilik faollik darajasi maxsus Chapelle va Frattini usullari orqali aniqlanadi.

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY international scientific conference

Portlandsement klinkeri asosini alit (C3S — 50-70 %), belit (C2S — 15-30 %), trikalsiy alyuminat (C3A — 5-10 %) va brounmillerit (C4AF — 5-15 %) minerallari tashkil etadi. Tizimda alit sement toshining dastlabki muddatlardagi mustahkamligini, belit esa kechki strukturaviy zichligini ta'minlaydi.

Tajriba metodikasi

Komponentlarni dastlabki tayyorlash texnologik bosqichlari 1-rasmda aks ettirilgan. Laboratoriya metodikasiga ko'ra, travertin jinsi 105 °C haroratda doimiy massagacha quritiladi va 0,08 mm li elak qoldig'isiz to'liq maydalanadi. G'o'zapoya biomasasini termik parchalash qat'iy 600–700 °C harorat oralig'ida nazoratli yoqish orqali amalga oshiriladi. Ushbu termik chegaradan oshish kul tarkibidagi amorf kremniy strukturasi kristall fazaga o'tishiga (kristallanishiga) va uning pozzolanik faolligi keskin pasayishiga sabab bo'ladi. Hosil bo'lgan texnogen kul mahsuloti ham dispersligini oshirish maqsadida 0,08 mm o'lchamgacha qo'shimcha maydalash bosqichidan o'tkaziladi.

Kompozit bog'lovchi materiallarni sintez qilish.

Tadqiqot doirasida ko'p komponentli gibrid bog'lovchi tizimlarni olish va ularning xossalarini kompleks baholash uchun uchta parallel texnologik liniyadan iborat kompleks metodika amalga oshirildi. Xomashyo komponentlarini dastlabki tayyorlash va yakuniy kompozit namunalarini sinovdan o'tkazish jarayonlari quyidagi ketma-ketlikda bajarildi:

1. Chust travertini liniyasi: Kon xomashyosi birlamchi mexanik qazib olish va bo'laklash bosqichidan o'tkazildi. So'ngra mineral tarkibidagi erkin namlikni yo'qotish maqsadida material termostatda 105±5 °C haroratda barqaror massagacha quritildi. Quritilgan jins laboratoriya tegirmonida chuqur dispersiyalanib, zarrachalar o'lchami 0,08 mm li elak qoldig'isiz to'liq o'tadigan kukun holatiga keltirildi.

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

2. G'ozapoya biomassasi liniyasi: Qishloq xo'jaligi agro-chiqindisi hisoblangan paxta poyalari yig'ilib, atmosfera sharoitida quritildi. Amorf kremniy dioksidi strukturasini saqlab qolish va uning kristallanishini oldini olish maqsadida biomasani termik parchalash 600–700 °C qat'iy nazoratli harorat rejimida olib borildi. Hosil bo'lgan texnogen kul gomogenlashtirildi va xuddi travertin singari 0,08 mm disperslikgacha maydalandi.

3. Portlandsement liniyasi: Tayyor sement bazasi (PTs/CEM I) namlik va me'yoriy sifat ko'rsatkichlari bo'yicha laboratoriya nazoratidan o'tkazildi. Sement kukunining solishtirma sirt yuzasi va elementar oksid tarkibi Blaine hamda rentgenfluorescent (XRF) tahlil usullari yordamida standartlashtirilib, germetik sharoitda saqlandi.

4. Dozalash, qorishma tayyorlash va qoliplash: Tayyorlangan uchta quruq komponent massa foiz ulushlarida o'zaro o'lchandi hamda mexanik gomogenizatorlarda quruq holda aralashtirildi. Eksperimentlar matritsasiga muvofiq jami 8 ta optimal tarkib (S-0 dan S-7 gacha) shakllantirildi. Qorishmalarni gidratatsiyalash uchun suv/qattiq (S/Q) nisbati 0,40–0,50 oralig'ida olindi va tayyor plastik massa maxsus laboratoriya qoliplariga joylashtirildi.

5. Gidratatsion qotish va instrumental sinovlar: Qoliplangan namunalar 20 ± 2 °C xona harorati va $W \geq 95\%$ nisbiy namlikka ega bo'lgan gidratatsiya kamerasida 1, 3, 7, 28 hamda 90 sutka davomida qotishga qo'yildi. Belgilangan muddatlar yakunida tayyor kompozit toshlarning kinetik mustahkamligi (egilish va siqilishdagi mustahkamlik chegaralari — ($R_{egilish}$), ($R_{siqilish}$) aniqlandi. Materiallarning mikrotuzilishi va faza o'zgarishlarini destruktiv va nodestruktiv tahlil qilish maqsadida rentgenfazaviy (XRD), termogravimetrik va differensial-termik (TG-DTA), skanerlovchi elektron mikroskoniya (SEM), Furiye-transformatsion infraqizil



UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

spektroskoniya (FTIR) hamda Frattini pozzolanik faollik sinovlari majmuasi qo'llanildi

Eksperimental tadqiqotlar jami sakkizta variantli tarkibni o'z ichiga olib, ulardan **S-0 namuna** guruhining sof nazorat (etalon) tarkibi hisoblanadi. Kompozit tizimni modifikatsiyalash jarayonida faol mineral qo'shimchalar — Chust travertini va g'o'zapoya kuli miqdoriy ulushlari 0 dan 20 % gacha bo'lgan diapazonda o'zaro o'zgartirib boriladi. Bunda tizimning optimal gidratatsiya balansini saqlash maqsadida klinker o'rnini bosuvchi ushbu ikki komponentning aralashmadagi jami umumiy ulushi 40 % lik me'yordan oshmasligi qat'iy ta'minlanadi. Tajriba tarkiblari, massa %

Tarkib	Portlandsement	Travertin	Kul
S-0	100	0	0
S-1	90	10	0
S-2	90	0	10
S-3	80	10	10
S-4	80	20	0
S-5	80	0	20
S-6	70	15	15
S-7	60	20	20

Kompozit namunalar 40x40x160 mm o'lchamli standart prizmalar ko'rinishida qoliplanib, 1, 3, 7, 28 va 90 sutka davomida gidratatsion qotishga qo'yiladi. Materialning egilish hamda siqilishdagi mexanik mustahkamlik chegaralari GOST 310.4-81 me'yorlari asosida, qorishmaning normal quyuvqligi va qotish muddatlari esa GOST 310.3 standarti bo'yicha aniqlanadi.

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

Tizimdagi mineralogik fazaviy o'zgarishlar rentgenfazaviy tahlil (XRD), termofizik effektlar termogravimetriya (TG-DTA) hamda mikrotuzilish arxitektonikasi skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) usullari yordamida tadqiq etiladi. G'ovapoya kulining pozzolanik faollik darajasi Chapelle va Frattini klassik sinovlari orqali baholanadi.

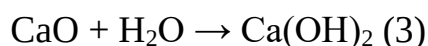
Tadqiqot natijalari

Ushbu bo'limda uch komponentli gibrid tizimda kechadigan fizik-kimyoviy jarayonlarning fundamental kinetikasi va ularning kimyoviy asoslari tahlil qilinadi. Kompozit toshning yakuniy mustahkamlik va g'ovaklik kabi aniq tarkibiy ko'rsatkichlari laboratoriya sinovlari orqali fiksatsiya qilinadi.

Travertin jinsi tarkibidagi kalsit mineralining termik parchalanishi (dekarbonizatsiyasi) taxminan 650 °C haroratdan boshlanib, 800–900 °C termik intervalda yuqori jadal tezlikda kechadi:



Gidratlangan tizim tarkibidagi portlandit minerali esa 400–500 °C atrofida dekonstitutsion suv yo'qotib parchalansa, hosil bo'lgan aktiv erkin ohak tashqi muhit namligi bilan yana qayta portlandit strukturasini tiklaydi:



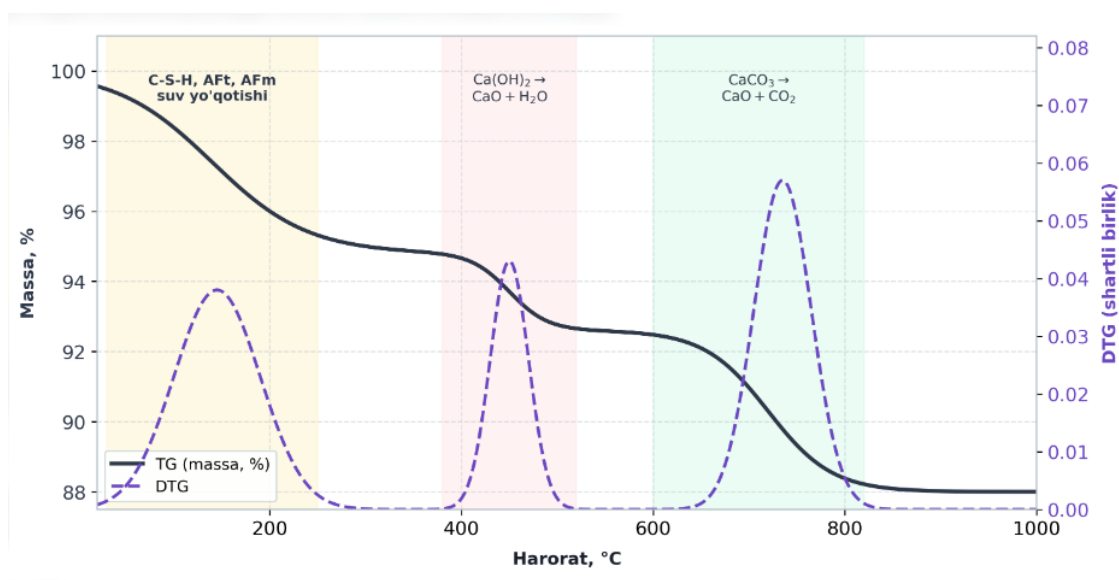
Mazkur endotermik jarayonlarning massa va issiqlik effektlari parametrlari tizimlashtirilgan.

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

Reaksiya	Molyar massa, g/mol	Massa o'zgarishi	ΔH° , kJ/mol
$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	100,09	-43,97%	+178,3
$\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	74,09	-24,32%	+65,2
$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$	56,08	+32,13%	-65,2
$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	74,09	+35,10%	-113,1

Termogravimetrik (TG) tahlil egri chiziqlari asosida gibrid sement toshidagi kalsit va portlanditning miqdoriy ulushlarini aniq hisoblash imkoniyati mavjud. Bunda kalsit mineralining miqdori tizimdan ajralgan CO_2 gazining 2,274 baravariga, portlandit gidroksidining miqdori esa bog'langan suv yo'qotilishining 4,11 baravariga teng deb olinadi (2-rasm). **4-jadval.** Reaksiyalarning stexiometrik ko'rsatkichlari



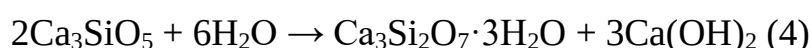
2 rasm Gidratlangan namuna TG-DTG egri chizig'ining taxminiy ko'rinishi

Portlandsement klinkeri minerallarining gidratatsiya kinetikasi

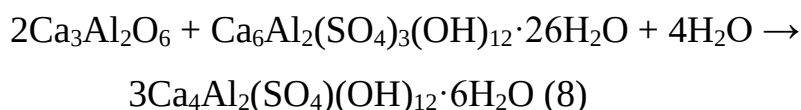
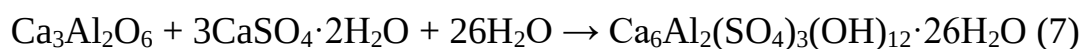
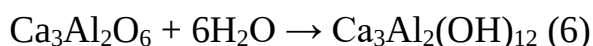
UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

Tizimga suv kiritilganda klinker minerallarining gidratatsiyalanish jarayonlari boshlanadi. Aktiv alit va kechki belit fazalari gidrolizlanib, sement toshining mexanik karkasini ta'minlovchi kalsiy gidrosilikat gellari (C-S-H) hamda portlandit kristallarini hosil qiladi:



Trikalsiy alyuminat minerali (C_3A) muhitda kalsiy sulfat (gips) bo'lmagan taqdirda o'ta yuqori tezlikda gidratlanib, qorishmaning muddatidan oldin qotib qolishiga sabab bo'ladi. Gips ishtirokida esa dastlabki bosqichda tikuvchi ettringit faza shakllanib, jarayon tezligini boshqaradi. Tizimda sulfat ionlari to'liq sarflanib bo'lingach, ettringit minerali barqarorroq monosulfat shakliga o'tadi:



Stoxiometrik hisob-kitoblarga ko'ra, to'liq gidratatsiya jarayonida 1 g alit fazasidan taxminan 0,49 g, 1 g belit mineralidan esa 0,22 g miqdorida erkin portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ajralib chiqadi. Mazkur gidroksid zaxirasi keyingi bosqichlarda faol pozzolanik qo'shimcha (g'o'zapoya kuli) bilan bog'lanish uchun asosiy komponent bo'lib xizmat qiladi.

Kompozit tizimda travertin va g'o'zapoya kulining strukturaviy ta'siri

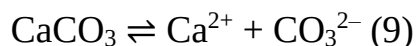
1. Chust travertinining gidratatsiya jarayoniga ta'siri

Travertin tarkibidagi kalsit minerali sement tizimining qotishida kompleks funksiyalarni bajaradi. Birinchidan, klinker ulushi kamayishi hisobiga har bir klinker kukuniga ko'proq suv fazasi va erkin makro-bo'shliq to'g'ri keladi. Ikkinchidan, o'ta dispers kalsit zarrachalari kalsiy gidrosilikat gellari (C-S-H) shakllanishi uchun faol garmonik kristallanish markazlari

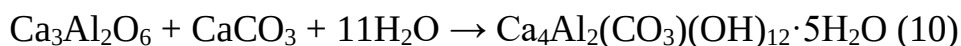
UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

vazifasini o'tab, dastlabki kinetik mustahkamlikni oshiradi. Uchinchidan, mikro-to'ldiruvchi sifatida g'ovaklarni zichlashtiradi. To'rtinchidan, kalsit kristallarining ma'lum bir qismi gidrolitik muhitda qisman dissotsiyanlanadi:



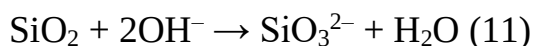
Ajralgan karbonat ionlari (CO_3^{2-}) klinker tarkibidagi alyuminat fazalari bilan kimyoviy bog'lanib, barqaror monokarboalyuminat kompleksini hosil qiladi. Ushbu yangi mineral faza sement toshining strukturasida ettringit kristallarini uzoq muddat barqaror saqlaydi va qattiq faza hajmini kengaytirib, kapillyar g'ovaklikni kamaytiradi:



Mazkur gidrotermal reaksiya tizimdagi alyuminat ionlarining miqdori bilan chegaralanadi. Muhitda alyuminiy yetishmagan taqdirda, ortiqcha kalsit minerali tizimda shunchaki passiv inert to'ldiruvchi bo'lib qoladi. Shu sababli, aralashmaga travertinni me'yoridan ortiq qo'shish samarasiz hisoblanadi (ohaktosh komponenti uchun adabiyotlardagi optimal doza 5–15 % oralig'ida bo'lib, travertin uchun bu ko'rsatkich eksperimentda aniqlanadi).

2. G'ozapoya kulining kimyoviy ta'siri

Kul tarkibidagi amorf kremniy dioksidining portlandit bilan kechadigan pozzolanik reaksiyasi tizim mustahkamligini oshiruvchi asosiy omildir. Sement toshining yuqori ishqoriy muhitida ($\text{pH} \geq 12,5$) faol silikat angidridi eruvchan holatga o'tadi va erkin kalsiy ionlari bilan birikib, qo'shimcha gidrosilikat (C-S-H) gellarini barpo etadi:



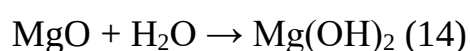
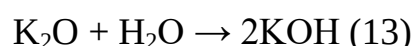
Stoxiometrik hisob-kitoblarga ko'ra, 80% portlandsement, 10% travertin va 10% kuldan iborat gibrid tarkibda (S-3) sement klinkeridagi alit va belit to'liq gidratlanganda taxminan 25 g portlandit hosil bo'ladi. Kul tarkibida o'rtacha 20% amorf SiO_2 mavjudligi inobatga olinsa, uni to'liq bog'lash uchun

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

atigi 3,7 g portlandit sarflanadi. Demak, muhitda portlandit zaxirasi yetarli bo'lib, pozzolanik jarayonni cheklaydigan asosiy faza — kul tarkibidagi faol amorf kremniy miqdoridir. Bu holat kulni hosil qilishdagi termik yoqish rejimining o'ta muhimligini ko'rsatadi.

Shu bilan birga, kul tarkibidagi erkin kaliy va magniy oksidlari gidratatsiyalanib, muhit ishqorligini keskin oshiradi:

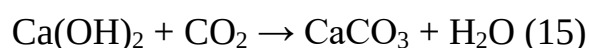


Ishqorlar konsentratsiyasining ortishi boshlang'ich qotish muddatlarini tezlashtirsada, kelgusida ichki korroziv kengayish hamda sement yuzasida dog'lar hosil bo'lish xavfini tug'diradi. Erkin MgO oksidining $\text{Mg}(\text{OH})_2$ gidroksidiga aylanishi kristallik hajmning ikki baravardan ko'proq kengayishiga sabab bo'lgani bois, kompozitning hajm o'zgarishi turg'unligi doimiy nazorat qilinishi shart.

3. Tizimning umumiy strukturaviy barqarorligi va chidamliligi

Uchlamchi gibrid tizimda portlandsement portlandit va ionlar zaxirasini shakllantirsa, kul faol kremniy va alyuminiy oksidlarini qo'shadi, travertin esa karbonat ionlari manbai bo'lib xizmat qiladi (3-rasm). Kul alyuminatlari va travertin karbonatining o'zaro sinergik ta'siri ternar sementlarning mustahkamlik poydevoridir.

Uzoq muddatli chidamlilik nuqtai nazaridan, tizimda portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) miqdorining kamayishi betonda karbonizatsiya jarayonini tezlashtirishi va pH ko'rsatkichini pasaytirishi mumkin:



Bundan tashqari, past haroratlarda va sulfat ionlari ishtirokida karbonat komponenti sement karkasini buzuvchi taumasit mineralining hosil bo'lishiga sharoit yaratadi. Shu sababli, olingan gibrid bog'lovchi materialni agressiv

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

sulfatli muhitlarda va grunt suvlari sharoitida qo'llashdan oldin alohida korrozion turg'unlik sinovlaridan o'tkazish talab etiladi.

IQTISODIY SAMARADORLIGI

Kompozit tizimda portlandsement klinkerining har 10 % miqdori faol mineral qo'shimchalarga almashtirilganda, bog'lovchi material ishlab chiqarishning ekologik CO₂ izi ham to'g'ridan-to'g'ri proporsional ravishda qariyb shuncha foizga qisqaradi. Agar an'anaviy usulda 1 t sement ishlab chiqarish uchun atmosferaga to'g'ri keladigan uglerod emissiyasi 0,80 t deb olinsa, klinker ulushini 30 % gacha gibrid almashtirish hisobiga ushbu ko'rsatkichni taxminan 0,56 t gacha tushirish imkoniyati vujudga keladi. Real ekologik pasayish balansi amalda biroz kamroq bo'lishi mumkin, chunki texnologik liniyadagi qo'shimcha maydalash, gomogenlashtirish va biomasani nazoratli yoqish jarayonlari ham ma'lum miqdorda elektr hamda issiqlik energiyasi sarfini talab etadi.

Iqtisodiy jihatdan, Chust konlaridan qazib olinadigan travertin jinsining tannarxi juda pastligi hamda g'o'zapoya kulining sanoat texnogen chiqindisi (kofil) ekanligi yakuniy tayyor mahsulot tannarxini keskin pasaytiradi. Mazkur gibrid kompozit kelajakda zamonaviy qurilish qorishmalari, pardozbop suvoq qorishmalari va gidravlik asboblari ishlab chiqarish uchun yuqori samarali anorganik xomashyo bazasi bo'lib xizmat qiladi. Biroq, materialning aniq qo'llanish sohalari va me'yoriy mezonlari uning kinetik mustahkamligi, qotish muddatlari hamda gidrofob (suvga chidamlilik) ko'rsatkichlari bo'yicha yakuniy laboratoriya sinovlari to'liq yakunlangandan so'ng qat'iy belgilanadi.

XULOSA

Olib borilgan kompleks tadqiqotlar natijasida Chust konining tabiiy travertin jinslari, qishloq xo'jaligi texnogen chiqindisi bo'lgan g'o'zapoya kuli hamda portlandsement klinkeri tizimida yuqori samarali uch komponentli

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

gibrid kompozit bog'lovchi material olishning fundamental fizik-kimyoviy imkoniyatlari to'liq asoslab berildi.

1. Komponentlarning o'zaro geokimyoviy paragenetik ta'sir mexanizmlari tahlili shuni ko'rsatdiki, sement klinkeri gidratatsiyasidan ajraladigan erkin portlandit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zaxirasi g'o'zapoya kuli tarkibidagi amorf kremniy dioksidi SiO_2 bilan pozzolanik reaksiyaga kirishib, qo'shimcha kalsiy gidrosilikat (C-S-H) gellarini hosil qiladi. O'z navbatida, travertin tarkibidagi kalsit minerallari tizimda kristallanish markazlarini shakllantirib, dastlabki muddatlardagi kinetik mustahkamlikni va mikrotuzilish zichligini ta'minlaydi.

2. Kompozit tarkibida qimmatbaho portlandsement klinkerining 30 % gacha bo'lgan qismini mahalliy mineral va texnogen qo'shimchalarga almashtirish hisobiga sement sanoatining global CO_2 izini 0,80 t dan 0,56 t gacha (tonna mahsulot hisobiga) kamaytirishning real texnologik imkoniyati yaratildi. Bu ko'rsatkich ishlab chiqarishning ekologik xavfsizligini ta'minlash bilan bir qatorda, tayyor bog'lovchi material tannarxini keskin pasaytirishga xizmat qiladi.

3. Ishlab chiqilgan uchlamchi gibrid bog'lovchi material o'zining fizik-mexanik xususiyatlariga ko'ra kelajakda qurilish korxonalari uchun yuqori sifatli qorishmalar, pardozbop va dekorativ suvoq moddalari ishlab chiqarishda muvaffaqiyatli qo'llanilishi mumkin. Biroq, materialni agressiv gidrogeologik (ayniqsa, sulfatli) muhitlarda ishlatishdan oldin uning uzoq muddatli korrozion turg'unlik mezonlarini qo'shimcha sinovlar orqali tekshirish talab etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOT

1. Scrivener, K., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low- CO_2 cement-based industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2-26.

UNIVERSAL INSIGHTS CONFERENCE ON SCIENCE AND SOCIETY

international scientific conference

2. Lothenbach, B., Le Saout, G., Gallucci, E., & Scrivener, K. (2008). Influence of limestone on the hydration of Portland cements. *Cement and Concrete Research*, 38(6), 848-860.
3. Taylor, H. F. W. (1997). *Cement Chemistry* (2nd ed.). Thomas Telford Publishing, London.
4. Aprianti, E., Shafigh, P., Zawawi, R., & Abu Hassan, Z. F. (2015). Introducing an agricultural waste as a pozzolanic material to reduce greenhouse gas emissions of cement manufacture. *Journal of Cleaner Production*, 103, 11-22.
5. Bazhenov, Yu. M., Alimov, L. A., & Voronin, V. V. (2012). *Razvitie teorii formirovaniya struktury i svoystv kompozitsionnykh stroitelnykh materialov*. Moskva: MGSU.