



**ЮҚОРИ АЛЮМИНАТЛИ ЦЕМЕНТ АСОСИДАГИ ЕНГИЛ ВА ТОЛАЛИ
ДЕКОРАТИВ БЕТОН ОЛИШ УЧУН ҚЎЛЛАНИЛАДИГАН ЦЕМЕНТНИНГ
РЕОЛОГИК ХОССАЛАРИГА ПЛАСТИФИКАТОРЛАРНИНГ ТАЪСИРИНИ
ТАДҚИҚ ЭТИШ**

<https://doi.org/10.70728/qdpi.v08.i01.015>

Тожибоев Абдурахим Абдуганиевич

*Тошкент шаҳридаги Вебстер университетининг
таълим дастурларини амалга ошириш маркази
Илмий-ўқув жараёни таъминоти бўлими бошлиғи*

E-mail: t.abdurahim76@gmail.com

Тел: +998996560400

Аҳмедов Султан Ильясович

Техника фанлари доктори, профессор.

Тошкент архитектура-қурилиш университети

“Қурилиш ва атроф-муҳит муҳандислиги” кафедраси мудири.

УДК 665.664

Аннотация. Мақолада юқори алюминатли цемент асосидаги енгил, толали ва майда донали декоратив бетон таркибларининг физик ва реологик хоссалари экспериментал тадқиқ этилган. Цементнинг ҳақиқий зичлиги ва солиштирма сирт майдони лаборатория шароитида аниқланиб, турли маркадаги пластификаторларнинг цемент хамирининг оқувчанлигига таъсири баҳоланган. Пластификатор дозасининг ўзгаришига боғлиқ равишда цемент хамирининг ҳаракатчанлиги ва сув сарфидаги фарқлар таҳлил қилинган. Тадқиқот натижалари оптимал пластификатор тури ва миқдорини аниқлаш имконини берган. Сув-цемент нисбатини камайтириш орқали бетоннинг эксплуатацион хоссаларини яхшилаш мумкинлиги илмий асосланган.

Калит сўзлар: юқори алюминатли цемент, ҳақиқий зичлик, цемент хамири, реологик хоссалар, пластификатор, оқувчанлик, сув-семент нисбати, енгил бетон, толали бетон, декоратив бетон.

Abstract. The paper presents an experimental investigation of the physical and rheological properties of lightweight, fiber-reinforced, and fine-grained decorative concretes based on high-aluminate cement. The true density and specific surface area of the

cement were determined under laboratory conditions, and the influence of various plasticizer types on the flowability of cement paste was evaluated. Changes in cement paste workability and water demand depending on plasticizer dosage were analyzed. The research results made it possible to determine the optimal type and amount of plasticizer. It was scientifically substantiated that reducing the water–cement ratio improves the performance properties of concrete.

Keywords: high-aluminate cement, true density, cement paste, rheological properties, plasticizer, flowability, water–cement ratio, lightweight concrete, fiber-reinforced concrete, decorative concrete.

Аннотация. В статье экспериментально исследованы физические и реологические свойства легких, фиброармированных и мелкозернистых декоративных бетонов на основе высокоалюминатного цемента. В лабораторных условиях определены истинная плотность и удельная поверхность цемента, а также оценено влияние пластификаторов различных марок на текучесть цементного теста. Проанализированы изменения подвижности цементного теста и водопотребности в зависимости от дозировки пластификаторов. Результаты исследований позволили определить оптимальный тип и количество пластификатора. Научно обоснована возможность улучшения эксплуатационных свойств бетона за счет снижения водоцементного отношения.

Ключевые слова: высокоалюминатный цемент, истинная плотность, цементное тесто, реологические свойства, пластификатор, текучесть, водоцементное отношение, легкий бетон, фибробетон, декоративный бетон.

Кириш. Замонавий курилиш материаллари ишлаб чиқаришда ресурс тежамкор, паст зичликка эга ва юқори эксплуатацион хоссаларни таъминлайдиган бетон турларини яратиш долзарб илмий-амалий масалалардан бири ҳисобланади. Айниқса, декоратив ва пардозлаш мақсадларида қўлланиладиган енгил, толали ва майда донали бетонлар учун боғловчи материалнинг минералогик таркиби, сув-семент нисбати ҳамда кимёвий қўшимчалар билан ўзаро таъсири ҳал қилувчи аҳамиятга эга. Юқори алюминатли цементлар тез гидратацияланиши ва юқори бошланғич мустаҳкамликка эгаллиги билан ажралиб турса-да, уларнинг пластификаторларга нисбатан сезгирлиги реологик барқарорликни таъминлашда қўшимча илмий тадқиқотларни талаб қилади. Шу боис мазкур ишда юқори алюминатли цемент асосидаги композицион тизимларнинг физик ва реологик хусусиятларини экспериментал ўрганиш муҳим ҳисобланади.

Сўнгги йилларда курилиш материаллари илмида юқори эксплуатацион хоссаларга эга бўлган цемент асосидаги композит материалларни ишлаб чиқиш масалаларига катта эътибор қаратилмоқда. Илмий тадқиқотларда бетоннинг

мустаҳкамлик, зичлик ва чидамлилиқ кўрсаткичлари асосан боғловчи тури ва сув-семент нисбатига боғлиқ эканлиги кўрсатилган. Neville маълумотларига кўра, бетоннинг механик хусусиятларига таъсир этувчи омилларнинг 60 % дан ортиғи сув-семент нисбати билан белгиланади [1].

Юқори алюминатли цементлар портландцементларга нисбатан тез гидратацияланиши ва юқори бошланғич мустаҳкамликка эгалиги билан фарқ қилади. Taylor ва Hewlett маълумотларига кўра, кальций алюминат фазалари (CA , CA_2) устун бўлган цементларда 24 соат ичида 40 МПа атрофида мустаҳкамликка эришиш мумкин [2, 3]. Бироқ, ушбу цемент турларида сув микдорининг ортиши гидратация маҳсулотларининг г‘овак тузилишда шаклланишига олиб келиб, мустаҳкамликнинг сезиларли пасайишига сабаб бўлади.

Цементнинг ҳақиқий зичлиги унинг минералогик таркибини билвосита тавсифловчи муҳим кўрсаткич ҳисобланади. ASTM C188 стандартига мувофиқ, юқори алюминатли цементлар учун ҳақиқий зичлик қийматлари 2,90–3,05 г/см³ оралиғида бўлиши қайд этилган [4]. Lea’s Cement Chemistry манбасида зичлик қийматларининг 2,95–3,00 г/см³ атрофида бўлиши алюминат фазалар улушининг юқорилигидан далолат бериши кўрсатилган [3].

Цементнинг солиштирма сирт майдони ва заррача ўлчами унинг реакцияга киришиш қобилиятини белгилайди. Mehta ва Monteiro таъкидлашича, солиштирма сирт майдони 2500–3000 см²/г бўлган цементларда гидратация тезлиги анча юқори бўлиб, бу цемент хамирининг реологик хоссаларига кучли таъсир кўрсатади [5].

Цемент хамирининг ҳаракатчанлиги ва оқувчанлиги кўпинча кесик конус усули орқали баҳоланади. Mindess маълумотларига кўра, пластификатор қўлланилмаган цемент хамирларида ёйилиш кўрсаткичи одатда 10–12 см дан ошмайди [6]. Пластификаторлар қўлланилганда эса, Collepardi тадқиқотларида кўрсатилганидек, бир хил ишловчанликни 15–25 % кам сув сарфи ҳисобидан таъминлаш мумкин [7].

Полимер асосидаги замонавий пластификаторлар цемент заррачалари сиртида адсорбцияланиб, улар орасидаги флокулланишни камайтиради. Uchikawa ишларида пластификаторларнинг оптимал дозаси цемент массасига нисбатан 0,3–0,5 % оралиғида бўлиши, айнан шу диапазонда максимал диспергирловчи таъсир кузатилиши аниқланган [8]. Бундан юқори дозаларда эса адсорбция тўйиниши сабабли реологик барқарорлик пасайиши мумкин.

Юқори алюминатли цементларда пластификаторларнинг самарадорлиги портландцементларга нисбатан пастроқ бўлиши мумкин. Bentz ва Ferraris маълумотларига кўра, бу ҳолат алюминат фазаларининг юқори кимёвий фаоллиги билан боғлиқ бўлиб, пластификатор молекулаларининг жуда тез адсорбцияланишига олиб келади [9].

Толали бетонлар бўйича олиб борилган тадқиқотларда *Banthia* маълумотларига кўра, шиша толаси 0,5–1,0 % ҳажмда қўлланилганда бетоннинг ёрилишга чидамлилиги бир неча баробар ошади, бироқ сув сарфининг ортиши толалар самарадорлигини пасайтиради [10]. Шу сабабли, толали ва майда донали бетонлар таркибини шакллантиришда пластификаторлар ёрдамида сув-цемент нисбатини оптималлаштириш муҳим ҳисобланади.

Юқорида келтирилган адабиётлар таҳлили мазкур тадқиқотда қўлланилган экспериментал ёндашувлар илмий жиҳатдан асосланган эканлигини ҳамда юқори алюминатли цемент асосидаги енгил ва декоратив бетонлар учун пластификатор танлаш масаласи ҳал қилувчи аҳамиятга эга эканлигини тасдиқлайди.

Тадқиқотнинг мақсади юқори алюминатли цемент асосидаги енгил, толали ва майда донали декоратив бетон таркибларини ишлаб чиқишда цементнинг физик-реологик хоссаларини баҳолаш, турли маркадаги пластификаторларнинг цемент хамирининг оқувчанлиги ва сув сарфини камайтириш самарадорлигига таъсирини экспериментал аниқлаш ҳамда оптимал пластификатор тури ва дозасини белгилашдан иборат.

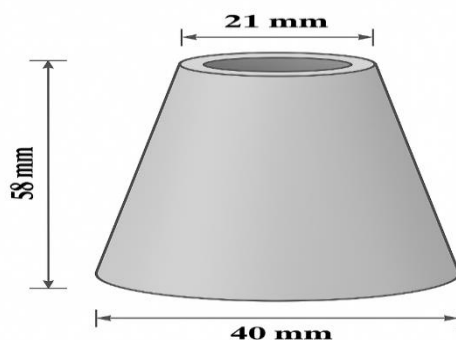
Тадқиқот усуллари. Цементнинг ҳақиқий зичлигини лаборатория шароитида аниқлаш мақсадида аввало тахминан 200 г намуна олиниб, у 0,08 рақамли элакдан ўтказилади. Элакдан ўтган майда кукундан 100 г ажратиб олиниб, тарози косаси ёки чини идишда юқори аниқликда тортилади. Кейин Ле-Шатлье асбоби пастки нол белгисигача изопропил спирти билан тўлдирилади ва суюқликнинг бошланғич сатҳи қайд этилади. Тайёрланган цемент кукуни Ле-Шатлье идишига секин-аста солинади ва бу жараён суюқлик сатҳи 20 мл белгисига етгунча давом эттирилади. Асбобга киритилмай қолган кукун миқдори алоҳида тортилиб аниқланади. Барча тортиш ишлари 0,01 г дан ортиқ бўлмаган хато билан бажарилади. Олинган тажриба натижалари асосида материалнинг ҳақиқий зичлиги тегишли формула ёрдамида ҳисоблаб чиқилади.

$$r = \frac{m - m_1}{V}$$

r - зичлик (г/см^3), m – дастлабки цемент массаси (г), m_1 -ортиб қолган цемент массаси (г), V - модданинг ҳажми (см^3).

Цемент хамирининг ҳаракатчанлигини аниқлаш усули. Цемент хамирининг пластификаторлар таъсиридаги ҳаракатчанлиги ҳамда сув сарфининг камайтириш даражасини баҳолаш мақсадида лаборатория шароитида экспериментал тадқиқотлар олиб борилди. Тажриба учун 100 г цемент ва 40 мл сув асосида цемент хабири тайёрланди, бунда назорат намунаси сифатида пластификатор қўшимчаси қўлланилмаган (0 %) таркиб қабул қилинди. Кейин назорат намунаси таркибига таркибида куруқ қолдиги 30% бўлган турли маркадаги пластификаторлар қўшиб ўрганилди. Тайёрланган цемент хамирининг ҳаракатчанлиги стандарт усулга

мувофиқ кесик конус ёрдамида аниқланди. Тадқиқот жараёнида юқори кесим диаметри 21 мм, қуйи кесим диаметри 40 мм ва баландлиги 58 мм бўлган металл кесик конусдан фойдаланилди. Цемент хамирининг тарқалиш даражаси конусни кўтаргандан сўнг ҳосил бўлган доиравий ёйилиш кўрсаткичлари асосида баҳоланди (1-расм).



1-расм. Тадқиқотда фойдаланилган кесик конуснинг шакли ва ўлчамлари

Тадқиқот ишлари доирасида паст зичликка эга бўлган толали майда донали бетон таркибларини ишлаб чиқиш режалаштирилди. Пардозлаш ишларида қўлланилиши мўлжалланган декоратив плиталарни тайёрлаш учун мрамар тўлдирувчиси, керамзит кукуни, шиша толаси ҳамда иккиламчи полистирол кукуни иштирокида композицион таркиблар шакллантирилди. Ушбу материалларни бирлаштирувчи боғловчи сифатида Эрон Ислом Республикасида ишлаб чиқарилган юқори алюминатли цемент танлаб олинди. Мазкур цемент таркибида алюминат фазаларининг юқори миқдорда бўлиши билан характерланади, бироқ шу билан бирга технологик жиҳатдан муайян ўзига хос хусусиятларга, хусусан, қўшимчаларга нисбатан сезгирликка эга. Айниқса, пластификаторлар билан ўзаро таъсирлашуви турлича намоён бўлиши сабабли, мазкур цементдан фойдаланишдан олдин унинг физик-кимёвий ва реологик хоссаларини батафсил ўрганиш зарур ҳисобланади. Ушбу цементнинг ҳақиқий зичлиги юқорида баён этилган усул асосида аниқланиб, 2,98 г/см³ ни ташкил этди.

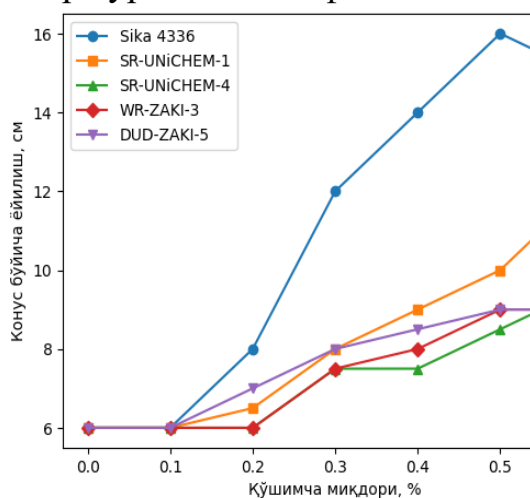
Бу цементни ПСХ 12М қурилмасида солиштирма сирт юзаси таҳлил қилинганда қуйидаги 1-жадвал маълумотлари олинди.

1-жадвал

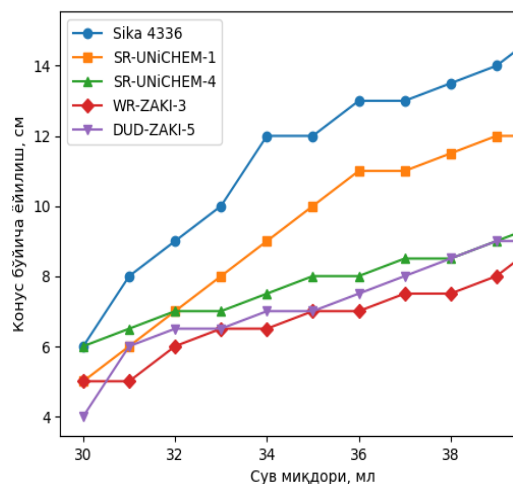
№	Кўрсаткич номи	Қиймат	Ўлчов бирлиги
1	Цементнинг ҳақиқий зичлиги	2,98	г/см ³
2	Цемент массаси	9,91	г
3	Цемент кукун қатлами баландлиги	15,3	мм
4	Ғоваклик	0,47	-
5	Солиштирма сирт майдони	2633	см ² /г
6	Заррачанинг ўртача ўлчами	81	мкм

1-жадвалда келтирилган кўрсаткичлар тадқиқотда қўлланилган цемент кукунининг физик-хоссаларини ифодалайди. Кукуннинг ҳақиқий зичлиги $2,98 \text{ г/см}^3$ бўлиши унинг минералогик таркибида алюминат фазалар улуши юқори эканлигини кўрсатади. Намунанинг массаси ва кукун қатлами баландлиги асосида шаклланган ғоваклик қиймати 0,47 га тенг бўлиб, бу кукун заррачалари орасида етарли ҳажмда бўшлиқлар мавжудлигини шу билан бирга зарралар шакли бир бирига яқин эканлигини англатади. Солиштирма сирт майдонининг $2633 \text{ см}^2/\text{г}$ ни ташкил этиши цементнинг реакцияга киришиш қобилияти юқори эканлигидан далолат беради. Шу билан бирга, заррачаларнинг ўртача ўлчами 81 мкм бўлиши кукуннинг майда дисперсли тузилишга эга эканлигини кўрсатиб, унинг сув билан ўзаро таъсири ва гидратация жараёнларига ижобий таъсир кўрсатиши мумкин.

Ушбу цемент намунаси асосида енгил, толали ва майда донали декоратив панел ишлаб чиқаришда сув сарфи асосий технологик омиллардан бири ҳисобланади. Сув миқдорининг ортиши натижасида тайёр маҳсулотнинг мустаҳкамлик кўрсаткичлари пасайиши, очиқ ғоваклар улушининг ортиши ҳамда сув шимувчанлик даражасининг кўтарилиши кузатилади. Бу ҳолат, ўз навбатида, материалнинг совуқбардошлилик хусусиятларига салбий таъсир кўрсатади. Шу боисдан, композицион таркибни шакллантириш жараёнида сув-семент нисбатини минимал даражада ушлаб туриш муҳим ҳисобланади. Мазкур мақсадга эришиш учун цемент хамирининг ишловчанлигини сақлаган ҳолда сув сарфини камайтириш имконини берувчи оптимал пластификаторни танлаш зарур. Шу муносабат билан тадқиқотлар давомида турли маркадаги пластификаторларнинг мазкур цемент билан ўзаро таъсири комплекс тарзда ўрганилди. Олинган натижалар юқорида келтирилган тадқиқот усули ёрдамида амалга оширилди. Олинган натижалар қуйидаги 2- ва 3- расмлардаги графиклар кўринишида ифодаланди.



2-расм. Пластификаторлар миқдорининг цемент хабири оқувчанлигига таъсири графиги



3-расм. Қўлланилган пластификаторларни 0,5% миқдори билан сув сарфини камайтириш

графи.

График маълумотлари турли маркадаги пластификаторларнинг дозалари ошиши билан цемент хамирининг оқувчанлигида турлича динамика кузатилишини яққол намоён қилади. Назорат нуқтасида (0–0,1 %) барча таркибларда оқувчанлик деярли бир хил қийматда сақланиб, пластификатор таъсири етарлича намоён бўлмагани аниқланади. Бу ҳолат қўшимчаларнинг паст концентрациясида цемент заррачалари сиртида адсорбция жараёни тўлиқ амалга ошмаслиги билан изоҳланади.

Sika 4336 пластификаторида 0,2–0,5 % ораликда оқувчанликнинг кескин ортиши кузатилиб, 0,5 % дозада максимал қийматга (тахминан 16 см) етиши унинг юқори диспергирловчи қобилятига эга эканлигини кўрсатади. 0,6 % да эса оқувчанликнинг бироз пасайиши қайд этилиб, бу ҳолат полимер занжирларининг тўйиниш эффекти ва эритмада реологик қаршилиқнинг ортиши билан боғлиқ.

SR-UNICHEM-1 пластификатори учун оқувчанлик деярли чизикли тарзда ўсиб бориши кузатилади, бу эса унинг таъсири босқичма-босқич ва барқарор эканлигини англатади. SR-UNICHEM-4 ва WR-ZAKI-3 пластификаторларида эса ўртача дозаларда (0,3–0,4 %) оқувчанлик ўсиши секинлашиб, айрим ҳолатларда плато ҳосил бўлиши аниқланади, бу цемент таркибидаги алюминат фазалар билан ўзаро таъсир хусусиятлари турлича эканлигини кўрсатади.

DUD-ZAKI-5 пластификатори нисбатан барқарор, аммо чекланган самарадорликни намоён қилиб, юқори дозаларда ҳам оқувчанлик қийматлари кескин ошмайди. Умуман олганда, график таҳлили шуни кўрсатадики, цемент хамирининг оптимал оқувчанлиги пластификатор тури ва унинг миқдорига кучли боғлиқ бўлиб, айрим пластификаторлар учун оптимал доза мавжуд. Ушбу оптимал нуқтадан ортиқ дозалаш технологик самарани оширмасдан, аксинча, реологик барқарорликка салбий таъсир кўрсатиши мумкин.

Алюминатли цемент таркибида кальций алюминат фазаларининг юқори кимёвий фаоллиги пластификатор молекулаларининг цемент заррачалари сиртида тез ва интенсив адсорбцияланишига олиб келади. Шу сабабли пластификатор миқдорининг ортиши маълум бир чегарагача цемент хамирининг диспергирланишини кучайтириб, оқувчанликнинг сезиларли ошишини таъминлайди. Бироқ оптимал концентрациядан ортиқ дозалаш ҳолатида адсорбция жараёни тўйиниш босқичига етиб, ортиқча полимер занжирларининг эритмада тўпланиши натижасида ички ишқаланиш ортади ва оқувчанлик ўсиши секинлашади ёки қисман пасаяди.

Қўлланилган пластификаторларни сув сарфини камайтириши тадқиқ қилиниб қуйидаги 3-рамдаги график кўринишида ифодаланди.

3-расмдаги график маълумотлари 0,5 % миқдорда қўлланилган турли маркадаги пластификаторларнинг цемент хамирининг ишловчанлигини сақлаган ҳолда сув

сарфини қисқартириш қобиляти турлича эканлигини кўрсатади. Барча таркибларда сув миқдорининг ортиши билан конус бўйича ёйилиш қийматларининг ўсиши кузатилган бўлса-да, бир хил оқувчанлик даражасига эришиш учун талаб этиладиган сув сарфи пластификатор турига кучли боғлиқ экани аниқланади.

Sika 4336 пластификатори энг юқори диспергирловчи таъсирни намоён қилиб, нисбатан кам сув миқдорида ҳам юқори оқувчанлик қийматларини таъминлайди, бу эса унинг цемент заррачалари сиртида самарали адсорбцияланиши ва флокулланишни кучли даражада сусайтириши билан изоҳланади. SR-UNICHEM-1 пластификатори ўртача самарадорликни кўрсатиб, сув сарфини қисқартиришда барқарор, аммо чекланган таъсирга эга эканлиги аниқланади. SR-UNICHEM-4, WR-ZAKI-3 ва DUD-ZAKI-5 пластификаторларида эса бир хил оқувчанликни таъминлаш учун нисбатан кўпроқ сув талаб қилиниши кузатилади, бу уларнинг алюминатли цемент билан ўзаро кимёвий таъсири ва адсорбция қобиляти пастроқ эканлигидан далолат беради.

Умуман олганда, натижалар алюминатли цементнинг юқори кимёвий фаоллиги шароитида сув сарфини оптимал даражада камайитириш учун пластификаторларнинг тури ҳал қилувчи аҳамиятга эга эканлигини кўрсатади. 0,5 % дозада Sika 4336 пластификатори сув-цемент нисбатини минимал даражада сақлаган ҳолда юқори ишловчанликни таъминлаши билан техник-иқтисодий жиҳатдан энг мақбул вариант сифатида баҳоланди.

Хулоса. Олиб борилган экспериментал тадқиқотлар натижасида юқори алюминатли цементнинг физик ва реологик хоссалари пластификатор тури ва дозасига юқори даражада боғлиқ эканлиги аниқланди. Цементнинг ҳақиқий зичлиги $2,98 \text{ г/см}^3$ эканлиги унинг алюминат фазаларга бой минералогик таркибга эга эканлигини тасдиқлади. Пластификаторлар қўлланилиши цемент хамирининг оқувчанлигини сезиларли ошириб, сув сарфини оптимал даражада камайитириш имконини берди. Тадқиқот натижалари 0,4–0,5 % дозада айрим пластификаторлар максимал диспергирловчи самара намоён қилишини кўрсатди. Оптимал дозадан ортиқ қўлланиш реологик барқарорликнинг пасайишига олиб келиши аниқланди.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.

1. Невилл А.М. Свойства бетона. – М. : Стройиздат, 2005. – 512 с.
2. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. – London : Thomas Telford, 1997. – 459 p.
3. Hewlett P., Liska M. Lea’s Chemistry of Cement and Concrete. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2019. – 1056 p.
4. ASTM C188–17. Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. – ASTM International, 2017. – 5 p.

5. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. – New York : McGraw-Hill, 2014. – 676 p.
6. Mindess S., Young J.F., Darwin D. Concrete. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2003. – 644 p.
7. Collepardi M. Chemical admixtures today // Concrete International. – 2004. – Vol. 26, No. 8. – P. 37–41.
8. Uchikawa H., Hanehara S., Sawaki D. Dispersion of cement particles by organic admixtures // Cement and Concrete Research. – 1997. – Vol. 27. – P. 37–50.
9. Bentz D.P., Ferraris C.F. Rheology of high-aluminate cement pastes // Cement and Concrete Composites. – 2010. – Vol. 32. – P. 420–427.
10. Banthia N., Gupta R. Fiber reinforced concrete // Cement and Concrete Research. – 2006. – Vol. 36. – P. 1263–1267.