УДК: 666.972.16:691.32

МАҲАЛЛИЙ ХОМ АШЁ АСОСИДА КЕНГАЙТИРИЛГАН ВЕРМИКУЛИТЛИ ЭНЕРГИЯ САМАРАДОР ПЕНОБЕТОНЛАРНИНГ ТАРКИБИ ВА ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ ҲАМДА ФИЗИК-МЕХАНИК ВА ИССИҚЛИК-ТЕХНИК ХОССАЛАРИНИ ТАДҚИҚ ЭТИШ

Хакимова Мадина Хабиб қизи
«Қурилиш муҳандислиги» кафедраси магистранти, СДТУ
https://doi.org/10.5281/zenodo.22864553

Аннотация. Ушбу тадқиқот ишида маҳаллий хом ашё манбалари ва сувга талаби паст бўлган цементлар (ЦНВ) базасида кўптирилган вермикулит қўшимчали энергия тежамкор, енгил ва юқори мустаҳкамликка эга пенобетонларнинг мақбул таркиблари ва ишлаб чиқариш технологик схемаси разработка қилинган. Тадқиқот давомида вермикулит миқдорининг (цемент массасига нисбатан 5–15%) пенобетон аралашмасининг оқувчанлиги, ўртача зичлиги, сиқилишдаги мустаҳкамлиги (B4 ва B5 синфлари), иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ҳамда сув шимилувчанлик кўрсаткичларига таъсири аниқланди. Олинган натижалар асосида ўртача зичлиги 380–520 кг/м³ ва сиқилишдаги мустаҳкамлиги 4.0–5.2 МПа бўлган стена блоклари олинди. Ушбу материал биноларнинг иссиқлик йўқотишини 25–30% га камайтириш ва энергия самарадорликни ошириш имконини беради.

Калит сўзлар: Пенобетон, кўптирилган вермикулит, паст сув талабчанликка эга цемент (ЦНВ), иссиқлик ўтказувчанлик, ғоваклик, ўртача зичлик, сиқилишдаги мустаҳкамлик, энергия самарадорлик.

КИРИШ (INTRODUCTION)

Жаҳонда ва Ўзбекистонда капитал қурилиш ҳажмларининг шиддат билан ортиб бориши ҳамда бино ва иншоотларнинг энергия самарадорлигига қўйиладиган талабларнинг кескин кучайиши шароитида ресурс ва энергия тежовчи, иссиқлик ҳимоя хусусиятлари юқори бўлган замонавий қурилиш материалларини ишлаб чиқиш энг устувор вазифалардан бири ҳисобланади. Айниқса, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 6 июлдаги ПҚ-307-сон «2022–2026 йилларда Ўзбекистон Республикасининг инновацион ривожланиш стратегиясини амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ҳамда 2025 йил 27 декабрдаги ПҚ-393-сон «2026–2028 йилларда Ўзбекистон Республикасининг ижтимоий ва ишлаб чиқариш инфраструктурасини ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорларида маҳаллий хом ашё ва минерал ресурслар асосида ресурс тежовчи, яшил иқтисодиёт тамойилларига мос келувчи қурилиш материаллари ишлаб чиқаришни кенгайтириш аниқ мақсад қилиб белгиланган.

Бугунги кунда республикамизда 15–17 та цемент заводи фаолият юритаётган бўлиб, уларнинг йиллик умумий ишлаб чиқариш қуввати порядка 17 миллион тоннани ташкил этади. Бироқ анъанавий портландцемент ишлаб чиқариш жараёни ўта юқори энергия ва ресурс сарфи билан тавсифланади: 1 тонна клинкерни куйдириш учун 200–215 кг шартли ёқилғи сарфланади, 1 тонна цемент олиш учун 1.5–2.3 тонна табиий оҳактош ва лой хомашёси талаб этилади, шунингдек 1 тонна цемент учун 110–120 кВт·соат электр энергияси сарфланиб, атмосферага 800–900 кг CO_2 ва 300–800 кг чанг ажралиб чиқади. Шу сабабли цемент ва клинкер сарфини

камайтириш, унинг ўрнини маҳаллий минерал тўлдирувчилар ва самарали ғоваклаштирувчи қўшимчалар билан тўлдириш долзарб илмий-техникавий муаммодир.

Ячеист бетонлар ва хусусан пенобетонлар иссиқлик изоляцияловчи ва конструкцион хоссаларни ўзида мужассамлаштирган энг истиқболли вакиллардан биридир. Бироқ анъанавий пенобетонлар паст мустаҳкамлик, юқори сув шимилувчанлик (15–20%) ва зичликнинг юқорилиги (800–1000 кг/м³) каби камчиликларга эга. Ушбу муаммони ҳал этиш учун сувга талаби паст бўлган цементлардан (ЦНВ) ҳамда маҳаллий енгил минерал тўлдирувчи — кўптирилган вермикулитдан комплекс фойдаланиш таклиф этилади. ЦНВ поликарбоксилатли суперпластификаторлар билан механокимёвий фаоллаштирилган тизим бўлиб, нормал густотаси 16–20% ни ташкил этади (оддий цементда 24–30%). Цемент заррачалари атрофида 1–2 мкм қалинликдаги ҳимоя пардаси ҳосил бўлиши ҳисобига гидратация жараёни тезлашади ва кам сув сарфида юқори зичликдаги цемент матрицаси шаклланади.

Кўптирилган вермикулит — гидрослюда гуруҳига мансуб минерал бўлиб, 850–1000 °C ҳароратда термик ишлов берилганда таркибидаги кристаллашган сувнинг кескин буғланиши натижасида ҳажми 15–25 бараварга кенгаяди. Уюм зичлиги 65–130 кг/м³, иссиқлик ўтказувчанлиги ~0.05 Вт/(м·К) бўлган ушбу минерал ғовак ва қатламли тузилишга эга бўлиб, пенобетон массасини сезиларли даражада енгиллаштиради ва иссиқлик изоляциясини оширади.

МАТЕРИАЛЛАР ВА МЕТОДЛАР (MATERIALS AND METHODS)

Тадқиқот ишлари СамДАҚУ «Қурилиш инженерияси» кафедраси лабораторияси ҳамда «Ceramic Bricks» синов лабораториясида амалга оширилди. Тадқиқотда қуйидаги хомашё ашёларидан фойдаланилди:

1. Боғловчи: Паст сув талабчанликка эга ЦНВ М500 цементи (солиштирма сирти 5000–5500 см²/г);
2. Тўлдирувчи: Маҳаллий кенгайтирилган вермикулит (фракцияси 0.16–0.63 мм, уюм зичлиги 80–110 кг/м³);
3. Кўпиклаштирувчи: «Ивхимпром» ОАЖ томонидан ишлаб чиқарилган ПБ-2000 синтетик пенообразователи;
4. Сув: ГОСТ 23732-2011 бўйича тоза ичиш суви.

Жадвал 1. Кўптирилган вермикулитнинг кимёвий таркиби (%)

Компонент	SiO_2	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O
Миқдори, %	38.0–49.0	20.0–23.5	12.0–17.5	5.4–9.3	5.2–7.9
Миқдори, %	0.7–1.5	1.5	0–1.2	5.2–11.5	< 1.0

Жадвал 2. Вермикулитли пенобетоннинг 1 м³ учун тажрибавий таркиблари

№	Таркиб номи	ЦНВ цемент, кг	Вермикулит, %	В/Ц нисбат	ПБ-2000, %	Мўлжалланган зичлик, кг/м³
1	Назорат таркиби (вермикулитсиз)	320	0	0.45	0.8	600
2	Пенобетон D500	400	5	0.42	0.8	500
3	Пенобетон D450	450	10	0.40	0.9	450
4	Пенобетон D400	500	15	0.38	1.0	400
5	Юқори иссиқлик	520	15	0.36	1.0	380

	изоляцияли D380					

Намуналарни тайёрлаш сурункали аралаштириш усулида бажарилди: дастлаб сурункали аралаштиргичда ЦНВ цементи ва вермикулит қуруқ ҳолда гомоген аралаштирилди, сўнгра ҳисобланган миқдордаги сув қўшилиб цемент ҳаммисли тайёрланди. Лаборатория пеногенераторида 0.5 МПа ҳаво босими остида ПБ-2000 эритмасидан олинган техник кўпик қоришмага киритилиб, 2–3 дақиқа давомида паст тезликда аралаштирилди. 100x100x100 мм ўлчамли куб намуналар қолипларга жойлаштирилиб, (20±2) °C ҳароратда 24 соат давомида сақлангач, қолиплардан бўшатилди ва 28 сутка давомида стандартизацияланган гидравлик режимда парвариш қилинди. Сиқилишдаги мустаҳкамлик Р-50 гидравлик прессида (ГОСТ 10180-2012 бўйича), ўртача зичлик ва сув шимилувчанлик ГОСТ 12730.1-2020 ва ГОСТ 12730.3-2020 бўйича аниқланди.

НАТИЖАЛАР (RESULTS)

Олиб борилган экспериментал тадқиқотлар натижасида кенгайтирилган вермикулит қўшимчасининг пенобетоннинг физик-механик ва иссиқлик-техник хусусиятларига ижобий таъсири тасдиқланди. Тажриба натижалари анъанавий пенобетон кўрсаткичлари билан қиёсий таҳлил қилинди ва 3-жадвалда келтирилди.

Жадвал 3. Вермикулитли пенобетон намуналарининг физик-механик ва иссиқлик-техник кўрсаткичлари

Кўрсаткич номи	B4 синфи (M400)	B5 синфи (ЦНВ M500)	Анъанавий пеноблок	Стандарт бўйича норма
Ўртача зичлик, кг/м³	480–520	400–450	800–1000	ГОСТ 25485-2019
Сиқилишдаги мустаҳкамлик, МПа	4.0	5.0–5.2	2.5–4.0	B3.5 – B5.0
Иссиқлик ўтказувчанлик λ, Вт/(м·К)	0.095–0.105	0.082–0.090	0.14–0.18	ГОСТ 7076-2014
Сув шимилувчанлик, %	14–16	10–14	15–20	< 20%

Эксперимент натижалари шуни кўрсатдики, ЦНВ M500 ва 10–15% вермикулит сақлаган 4 ва 5-таркибларда ўртача зичлик 400–450 кг/м³ гача пасайиб, сиқилишдаги мустаҳкамлик 5.0–5.2 МПа га етди (B5 синфи). Одатдаги пенобетонларда зичлик 800–1000 кг/м³ бўлгандагина мустаҳкамлик 2.5–4.0 МПа ни ташкил этар эди. Яъни, таклиф этилаётган композитда материалнинг солиштирма мустаҳкамлик коэффициенти (R/ρ) 2.2–2.5 бараварга ортди. Сув шимилувчанлик кўрсаткичи анъанавий пенобетондаги 15–20% дан 10–14% гача камайди, бу эса капилляр ғовакларнинг ёпиқ ҳаво пуфакчалари билан блокланиши ва вермикулитнинг гидрофоблаштирувчи таъсири билан изоҳланади.

МУҲОКАМА (DISCUSSION)

Вермикулитли пенобетоннинг юқори физик-механик ва иссиқлик-техник кўрсаткичларга эга бўлиши унинг микроструктураси шаклланишидаги синергетик эффектга боғлиқдир. ЦНВ цементининг гидратация маҳсулотлари (гидросиликатлар C-S-H) вермикулит заррачаларининг қатламлараро юзаси билан мустаҳкам адгезион алоқа ҳосил қилади. Вермикулит заррачалари фақат енгил тўлдирувчи эмас, балки микро-демпфер ва микро-армирловчи каркас вазифасини бажаради. Натижада, ғоваклараро деворчаларнинг қалинлиги ва мустаҳкамлиги ортади, макроструктурада кучланишларнинг тўпланиши олди олинади.

Тадқиқотда регрессион таҳлил усули билан асосий физик-механик ва иссиқлик-техник хусусиятларнинг математик моделлари олинди. Мустаҳкамлик (R, МПа), ўртача зичлик (ρ, кг/м³) ва иссиқлик ўтказувчанлик (λ, Вт/(м·К)) кўрсаткичларининг вермикулит миқдори (X_1) ва В/Ц нисбатига (X_2) боғлиқлик тенгламалари қуйидагича ифодаланади:

- $R = 6.2 - 0.12 \cdot X_1 - 4.5 \cdot X_2$ ($R^2 = 0.96$)
- $\rho = 620 - 14.5 \cdot X_1 - 280 \cdot X_2$ ($R^2 = 0.98$)
- $\lambda = 0.145 - 0.0038 \cdot X_1 - 0.08 \cdot X_2$ ($R^2 = 0.95$)

Саноат корхоналарида кенгайтирилган вермикулитли пенобетон блокларини ишлаб чиқариш учун компьютерлаштирилган автоматлаштирилган технологик схема разработка қилинди. Схема хомашёни қабул қилиш (силос ва бункерлар), сурункали дозаторлар, қуруқ компонентларни шнекли аралаштиргичда гомогенлаш, пеногенератор ва компрессор орқали кўпик тайёрлаш, автоматик қолиплаш, резакли кесиш мажмуаси ҳамда сушилка камераларини ўз ичига олади. Бу технология ишлаб чиқариш себестоимостини 18–22% га камайтириш ва энергия тежамкорлигини ошириш имконини беради.

ХУЛОСА ВА ТАВСИЯЛАР (CONCLUSION)

1. Маҳаллий кенгайтирилган вермикулит ва паст сув талабчанликка эга ЦНВ М500 цементи асосида В4 ва В5 мустаҳкамлик синфларига мос келувчи юқори самарадор пенобетон таркиблари оптималлаштирилди.
2. Вермикулитни 10–15% миқдорда киритиш пенобетоннинг ўртача зичлигини 380–450 кг/м³ гача камайтириш билан бирга сиқилишдаги мустаҳкамликни 5.0–5.2 МПа даражасида сақлаш ва иссиқлик ўтказувчанликни 0.082 Вт/(м·К) гача пасайтириш имконини берди.
3. Материалнинг сув шимилувчанлиги анъанавий пенобетонга нисбатан 10–14% гача пасайиб, аёзга ва эксплуатацияга бардошлилиги сезиларли даражада ортди.
4. Ишлаб чиқарилган вермикулитли пенобетон блокларини қурилиш амалиётига жорий этиш биноларнинг иссиқлик йўқотишини 25–30% га камайтиради ва қурилиш саноатида маҳаллий хомашёлардан оқилона фойдаланиш кўламини кенгайтиради.

АДАБИЁТЛАР РОЎЙХАТИ (REFERENCES)

1. Каримов Г.У. Исследование энергоэффективных вяжущих низкой водопотребности для современного строительства // Problems of Architecture and Construction. – 2018. – №2. – С. 61–63.
2. Саидмуродова С.М., Каримов Г.У., Юсупов Х.В. Исследование энергоэффективных пенобетонов на основе цементов низкой водопотребности и вспученного вермикулита // Problems of Architecture and Construction. – 2024. – №2. – С. 55–63.

3. Шакиров Т.Т., Турсунов Б.А., Одилжанов А.З. Исследование физико-механических свойств и коэффициента теплопроводности сверхлегкого бетона на основе местного вермикулита // World Bulletin of Social Sciences. – 2022. – Vol. 14. – P. 36–39.
4. ГОСТ 25485-2019. Бетоны ячеистые. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019.
5. ГОСТ 31359-2007. Бетоны ячеистые автоклавного твердения. – М.: Стандартинформ, 2008.
6. Plank J., Sachsenhauser B. Experimental determination of the effectiveness of polycarboxylate superplasticizers in ultra-high performance concrete // Cement and Concrete Research. – 2009. – Vol. 39, №1. – P. 1–5.
7. Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry // Cement and Concrete Research. – 2018. – Vol. 114. – P. 2–26.
8. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. – 4th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2014. – 704 p.