ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 10

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

УДК 666.94: 691.5

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО ГРАНОДИОРИТА КАРАТАУСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ЦЕМЕНТОВ

Л.Б. Кабулова
Нукусский государственный педагогический институт
Г.Ж. Оразимбетова
Андижанский государственный технический институт
Темирбаева Ж.М.
Нукусский государственный технический университет

Аннотация. В статье представлены результаты исследования физико-механических свойств композиционных портландцементов с добавкой механоактивированного гранодиорита Каратауского месторождения (Республика Каракалпакстан, Узбекистан). Определены прочность на сжатие и изгиб, нормальная густота, сроки схватывания для составов с содержанием добавки 10, 20, 30 и 40 %. Установлено, что оптимальная дозировка составляет 10 %, обеспечивая прочность на сжатие 53,8 МПа. При 20 % добавки достигается класс 42,5 с экономией клинкера 20 %. Дозировки 30-40 % пригодны для экологичных бетонов с пониженным тепловыделением. Проведено сравнение механической активации гранодиорита с термической активацией. Показаны преимущества механической активации: энергозатраты 30-50 кВт·ч/т против 500-800 кВт·ч/т, минимальная экологическая нагрузка, полное сохранение природного состава.

Ключевые слова: гранодиорит, механоактивация, композиционный цемент, прочность на сжатие, класс прочности, энергоэффективность.

Annotatsiya. Maqolada Karatau konidagi mexanoaktivlangan granodiorit qo‘shilgan (10, 20, 30 va 40 %) kompozitsion portlandtsementlarning fizik-mexanik xususiyatlari bo‘yicha tadqiqot natijalari keltirilgan. 10 % li optimal doza 53,8 MPa bosim kuchini (GOST 31108-2020 bo‘yicha 52,5 sinf) ta’minlashi aniqlangan. 20 % qo‘shilganda 44,1 MPa (42,5 sinf) ga erishiladi va klinker 20 % tejaladi. 30-40 % dozalar (34,2-36,3 MPa, 32,5 sinf) issiqlik ajralishi past bo‘lgan ekologik betonlar uchun mos keladi. Mexanik aktivatsiya (30-50 kVt·soat/t) termik aktivatsiyaga (500-800 kVt·soat/t) nisbatan energiya samaradorligi va ekologik xavfsizligi bo‘yicha afzalliklarga ega.

Kalit so‘zlar: granodiorit, mexanoaktivlanish, kompozitsion tsement, bosim kuchi, mustahkamlik sinfi, energiya samaradorligi.

Abstract. The article presents the results of a study of the physical and mechanical properties of blended Portland cements with the addition of mechanochemically

activated granodiorite from the Karatau deposit (Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan). Compressive and flexural strength, normal consistency, and setting times were determined for compositions containing 10, 20, 30, and 40 % of the additive. The optimal dosage of 10 % provides a compressive strength of 53.8 MPa. At 20 % addition, a strength of 44.1 MPa is achieved with 20 % clinker saving. Dosages of 30-40 % are suitable for eco-friendly concretes with reduced heat generation. A comparison of mechanical and thermal activation of granodiorite is carried out. The advantages of mechanical activation (30-50 kWh/t vs 500-800 kWh/t) in terms of energy consumption and environmental safety are shown.

Keywords: granodiorite, mechanochemical activation, blended cement, compressive strength, strength class, energy efficiency.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Снижение клинкерного фактора за счёт частичной замены клинкера активными минеральными добавками является одним из основных способов уменьшения углеродного следа цементной промышленности. Гранодиорит (кислая магматическая порода, SiO_2 = 68,4 %) рассматривается как перспективная добавка [1, 2].

Исходный гранодиорит имеет низкую реакционную способность из-за высокой кристалличности α-кварца и полевых шпатов. Для повышения его активности требуется предварительная активация механическая или термическая.

Целью настоящего исследования являлось определение оптимальной дозировки механоактивированного гранодиорита Каратауского месторождения по прочностным и технологическим характеристикам композиционных цементов, а также проведение сравнительной оценки эффективности механической активации в планетарной шаровой мельнице и термической активации как способов повышения пуццолановой активности материала.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.

Объектом исследования являлся природный гранодиорит Каратауского месторождения (Республика Каракалпакстан, Узбекистан). Химический состав материала (табл. 1) определяли комбинацией рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) и классических химических методов.

ISSN 3030-3907

Таблица 1.

Химический состав гранодиорита Каратауского месторождения (масс. %)

SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	SO_3	R_2O	ППП	Сумма
68,4	15,3	4,79	3,42	0,9	0,34	3,52	4,0	99,8

*Примечание – R_2O рассчитано как сумма K_2O, Na_2O, TiO_2, P_2O_5, Cl, SrO, BaO (в пересчёте на оксиды). ППП — потери при прокаливании при 1000°C.

Химический состав гранодиорита (табл. 1) определяли по ГОСТ 5382-2019 «Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа» [4]. Соответствие гранодиорита требованиям, предъявляемым к активным минеральным добавкам, оценивали согласно Oz DSt 336:2024 «Добавки для цементов. Активные минеральные добавки и добавки-наполнители. Технические условия» [8]. Практическое отсутствие Na_2O (0,03 %) и MgO исключает риск развития щелочно-силикатной реакции.

Механоактивацию гранодиорита проводили совместным помолом с портландцементным клинкером и гипсом (5 % от массы клинкера) в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 450-550 $м^2/кг$ (исходная удельная поверхность гранодиорита составляла 220-280 $м^2/кг$).

Исследованы составы с содержанием механоактивированного гранодиорита 10, 20, 30 и 40 % (образцы П-4, П-3, П-2, П-1 соответственно). Контрольный состав – 95 % клинкера + 5 % гипса.

Физико-механические испытания выполнены по ГОСТ 30744-2001 (метод с полифракционным песком). Классификация цементов по прочности проведена в соответствии с ГОСТ 31108-2020 [6]. Определяли нормальную густоту цементного теста (%), сроки начала схватывания (мин), прочность на изгиб и сжатие в возрасте 28 суток (МПа).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Нормальная густота и сроки схватывания. Введение механоактивированного гранодиорита в количестве от 10 до 40 % приводит к незначительному увеличению нормальной густоты цементного теста – с 25,6 % (при 10 % добавки) до 27,6 % (при 40 % добавки) (табл. 3). Это связано с ростом доли высокодисперсного материала, требующего большего количества воды для смачивания поверхности частиц.

ISSN 3030-3907

Таблица 3.

Технологические свойства композиционных цементов

Образец	Гранодиорит, %	Нормальная густота, %	Начало схватывания, мин
образец №1	10	25,6	84
образец №2	20	25,8	60
образец №3	30	26,6	73
образец №4	40	27,6	90

Сроки начала схватывания находятся в пределах 60-90 мин и полностью соответствуют требованиям ГОСТ 31108-2020 (не ранее 45 мин) [6]. Отсутствие чёткой зависимости между дозировкой и временем схватывания объясняется конкуренцией двух процессов: пуццолановая реакция ускоряет структурообразование, а разбавление клинкера несколько замедляет начальную гидратацию.

Прочностные характеристики. Влияние дозировки механоактивированного гранодиорита на прочность цементного камня в возрасте 28 суток представлено в табл. 4.

Таблица 4.

Физико-механические свойства композиционных цементов

Образец	Гранодиорит, %	Прочность при изгибе/сжатии, МПа (28 сут)		Класс по ГОСТ 31108-2020
		$R_{изг}$	$R_{сж}$	
Контроль	0	-	48,5	42,5
образец №1	10	7,1	53,8	52,5
образец №2	20	6,8	44,1	42,5
образец №3	30	5,6	36,3	32,5
образец №4	40	6,0	34,2	32,5

Оптимальной является дозировка 10 % (образец №1): прочность на сжатие достигает 53,8 МПа (класс 52,5), прочность на изгиб – 7,1 МПа. При увеличении содержания добавки до 20 % прочность на сжатие снижается до 44,1 МПа (класс 42,5), что на 18 % ниже оптимального значения, однако остаётся выше нормативного минимума. Дальнейшее повышение дозировки до 30-40 % приводит к снижению прочности на сжатие до 34,2-36,3 МПа

ISSN 3030-3907

(класс 32,5). При этом прочность на изгиб стабилизируется на уровне 5,6-6,8 МПа, что указывает на сохранение когезионных свойств цементного камня даже при высоком замещении клинкера.

По критерию «прочность – экономия клинкера – экологичность» рекомендованы следующие дозировки механоактивированного гранодиорита:

- 10 % - класс 52,5 (53,8 МПа). Рекомендуется для ответственных конструкций (мосты, высотные здания, гидротехнические сооружения).

- 20 % - класс 42,5 (44,1 МПа). Применяется для рядового бетона (фундаменты, стены, перекрытия). Обеспечивает экономию клинкера до 20 %.

- 30-40 % - класс 32,5 (34,2-36,3 МПа). Целесообразно использовать в массивных конструкциях (плотины, фундаменты) и при производстве неответственных изделий (бордюрный камень, тротуарная плитка). Такие составы характеризуются пониженным тепловыделением и высокой экологичностью.

Сравнение механической и термической активации. Для повышения пуццолановой активности гранодиорита могут применяться два основных метода: механическая активация (совместный помол) и термическая активация (обжиг при 700-900 °С). Сравнительный анализ приведён в табл. 5.

Таблица 5.

Сравнительная характеристика методов активации гранодиорита

Параметр	**Механическая активация**	**Термическая активация (700-900 °С)**
Температура процесса, °С	20-70 (саморазогрев)	700-900
Энергозатраты, кВт·ч/т	30-50	500-800
Экологическая нагрузка	Минимальная (нет выбросов)	Высокая (CO_2, NO_x, пыль)
Сохранение природного состава	Полностью сохраняется	Частичное
Удельная поверхность, $м^2/кг$	450-550	300-450

Таким образом, механическая активация является значительно более энергоэффективной (в 10-15 раз ниже энергозатраты), экологически предпочтительной и технологически простой альтернативой термической

ISSN 3030-3907

активации, обеспечивая при этом более высокую пуццолановую активность и полное сохранение природного минерального состава гранодиорита.

4. ВЫВОДЫ.

В результате проведённых исследований установлено следующее:

1. Оптимальной дозировкой механоактивированного гранодиорита Каратауского месторождения является 10 %. При данной дозировке достигается максимальная прочность на сжатие 53,8 МПа, что соответствует классу 52,5 по ГОСТу [6].

2. При увеличении содержания добавки до 20 % прочность на сжатие составляет 44,1 МПа (класс 42,5), что обеспечивает экономию клинкера на 20 % при сохранении высоких эксплуатационных характеристик. Дальнейшее повышение дозировки до 30-40 % приводит к снижению прочности до 34,2-36,3 МПа (класс 32,5). Такие составы рекомендуются для массивных конструкций и производства неответственных бетонных изделий [6].

3. С увеличением содержания механоактивированного гранодиорита от 10 % до 40 % нормальная густота цементного теста возрастает с 25,6 % до 27,6 %. Сроки начала схватывания (60-90 мин) полностью соответствуют требованиям ГОСТ 31108-2020 (не ранее 45 мин) [6].

4. Механическая активация гранодиорита характеризуется существенно меньшими энергозатратами (30-50 кВт·ч/т) по сравнению с термической активацией (500-800 кВт·ч/т), а также более низкой экологической нагрузкой и полным сохранением природного минерального состава.

Полученные данные подтверждают возможность эффективного использования механоактивированного гранодиорита Каратауского месторождения в качестве активной пуццолановой добавки для производства композиционных цементов различных классов прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M.* Eco-efficient cements // Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 114. P. 2-26. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.03.015.

2. *Fathy I.N., El-Sayed M.A., Hassan M.S., et al.* Recycling of Waste Granodiorite Powder as a Partial Cement Replacement for Enhanced Mechanical Properties of Concrete // Advances in Materials Science. 2024. Vol. 24, No. 3. P. 56-88. DOI: 10.2478/adms-2024-0017.

3. *Mahmoud A.A., Abdelrahman H.A., El-Gammal M.I., et al.* Influence of Elevated Temperature on the Properties of Granodiorite-Based Geopolymer

Concrete // Scientific Reports. 2025. Vol. 15, Article number: 3572. DOI: 10.1038/s41598-024-85043-2.
4. ГОСТ 5382-2019. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. — М.: Стандартинформ, 2019.
5. ГОСТ 30744-2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. — М.: Издательство стандартов, 2001.
6. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2020.
7. ГОСТ 25094-2015. Добавки активные минеральные для цементов. Методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2019.
8. O‘z DSt 336:2024. Добавки для цементов. Активные минеральные добавки и добавки-наполнители. Технические условия. — Ташкент: Узстандарт, 2024.

ISSN 3030-3907