

ENGINEER



international scientific journal

SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**
Tashkent state
transport university



ENGINEER

A bridge between science and innovation

E-ISSN: 3030-3893

ISSN: 3060-5172

SPECIAL ISSUE

24-april, 2025



engineer.tstu.uz

**MUHAMMADAMIN KABULOVICH TOHIROVNING TAVALLUDINING
80 YILLIGIGA BAG'ISHLANGAN
“SAMARALI QURILISH MATERIALLARI, KONSTRUKSIYALARI VA
TEXNOLOGIYALARI”
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMUY-AMALIY KONFERENSIYASI
ILMYI ISHLARI TO'PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining akademigi, O'zbekiston Respublikasida xizmat ko'rsatgan yoshlari murabbiysi, texnika fanlari doktori, professor **Muhammadamin Kabulovich Tohirovning tavalludining 80 yilligiga bag'ishlangan “Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya ilmiy ishlari to'plami chop etildi.

Muhammadamin Kabulovich kompozitsion qurilish materiallarining polistrukturaviy nazariyasini rivojlantirishga ulkan hissa qo'shgan olimdir. 1995-yilda Muhammadamin Kabulovich Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining (RAASN) xorijiy a'zosi etib saylangan, bu esa ularning qurilish materialshunosligi sohasiga qo'shgan ilmiy hissasining xalqaro miqyosdagi e'tirofi bo'ldi. Ular o'z ilmiy faoliyati davomida 6 ta monografiya, 200 dan ortiq ilmiy maqola va 25 ta ixtiroga mualliflik guvohnomasi yaratganlar.

Ushbu konferensianing asosiy maqsadi – qurilish materialshunosligi, bino va inshootlarni loyihalash hamda qurilish sohasidagi zamonaviy ilmiy tadqiqotlar natijalarini muhokama qilish, shuningdek, muhandislik ta'limini takomillashtirish yo'llarini aniqlashdir.

Konferensiyada O'zbekiston Respublikasi hamda xorijiy mamlakatlarning oliy o'quv yurtlari va ilmiy-tadqiqot institutlari olimlari, shuningdek, muhim ilmiy tadqiqot natijalariga ega bo'lgan ishlab chiqarish vakillari o'z ilmiy ishlari bilan ishtirok etdilar.

“Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensianing asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

- 1. Resurs va quvvatni tejaydigan qurilish materiallari va texnologiyalari** – zamonaviy ekologik va iqtisodiy talablarni qondirishga qaratilgan innovatsion yechimlar.
- 2. Bino va inshootlarning qurilish konstruksiyalari, zamonaviy hisoblash va loyihalash usullari** - muhandislik va texnologik yechimlarni takomillashtirish yo'nalishlari.
- 3. Arxitektura va shaharsozlik** – estetik va funksional jihatlarni uyg'unlashtirgan zamonaviy loyihalar yaratish.
- 4. Zamonaviy muhandislik ta'limi tizimini takomillashtirish** – kelajak mutaxassislarini yuqori malakali darajada tayyorlash uchun ta'lim jarayonini modernizatsiya qilish.

Mazkur konferensiya ilmiy hamjamiyatning turli vakillarini bir joyga jamlab, qurilish materialshunosligi sohasidagi zamonaviy muammolar va istiqbollarni muhokama qilish uchun qulay platforma vazifasini bajardi.

Optimization of the composition of fine-grained concrete reinforced with polypropylene fiber

I.M. Makhamataliev¹^a, R.B. Muminov¹^b, Sh.A. Uzakov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The article presents the results of research on optimizing the composition of fine-grained concrete reinforced with polypropylene fiber. Based on the implementation of an active experiment using the method of mathematical experiment planning, a mathematical model of the compressive strength limit of the modified cement stone was obtained. Through graphical-analytical analysis, the optimal values of formulation and technological parameters were determined, namely: the dosage of the superplasticizer MasterGlenium ACE 430 – 1.0% of the mass of the cement binder, the content of the mineral filler – ground zeolite-containing rock – 18% of the mass of the cement binder, and the content of polypropylene fiber FOX POLFIBER M12 – 0.4% of the mass of the cement binder.

Keywords:

fine-grained concrete, fiber-reinforced concrete, polypropylene, fibrous fiber, microstructure, matrix, porosity, strength, properties, fiber-reinforced concrete mixture, cement, compression, bending, composition, superplasticizer, mineral filler, zeolite-containing rock, dispersed reinforcement, composite

Оптимизация состава дисперсно-армированного полипропиленовым фиброволокном мелкозернистого бетона

Махаматалиев И.М.¹^a, Муминов Р.Б.¹^b, Узаков Ш.А.¹^c

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В статье приведены результаты исследований по оптимизации состава дисперсно-армированного полипропиленовым фиброволокном мелкозернистого бетона. На основании реализации активного эксперимента методом математического планирования экспериментов получена математическая модель предела прочности на сжатие модифицированного цементного камня, проведением графоаналитического анализа которого были установлены оптимальные значения рецептурно-технологических параметров, а именно: дозировки суперпластификатора MasterGlenium ACE 430 – 1,0 % от массы цементного вяжущего, содержания минерального наполнителя – молотой цеолитсодержащей породы – 18 % от массы цементного вяжущего, и содержания полипропиленовой фибры FOX POLFIBER M12 – 0,4 % от массы цементного вяжущего.

Ключевые слова:

мелкозернистый бетон, фибробетон, полипропилен, фиброволокно, микроструктура, матрица, пористость, прочность, свойства, фибробетонная смесь, цемент, сжатие, изгиб, состав, суперпластификатор, минеральный наполнитель, цеолитсодержащая порода, дисперсное армирование, композит

приводит к увеличению отношения пределов прочности при сжатии и растяжении (R_b/R_{bt}). При этом экономическая эффективность применения фибробетона повышает конкурентоспособность по сравнению с другими видами железобетона.

Эксплуатационные свойства фибробетона, как и любого композитного материала, обусловливаются свойствами совместной работы его компонентов: фибры и бетона-матрицы. В фибробетоне такая работа обеспечивается за счет сцепления и анкеровки фибры в матрице композита [5].

Фибробетоны на основе синтетических волокон отличаются высокими значениями основных показателей эксплуатационных свойств [6]. Многочисленные исследования [7-15] показывают, что применение синтетических волокон в качестве армирующего материала обычно приводит к уменьшению усадочных деформаций хрупкой

^a <https://orcid.org/0009-0002-5945-2565>

^b <https://orcid.org/0000-0002-5297-1736>

^c <https://orcid.org/0000-0002-5317-2602>

цементной матрицы, повышению морозостойкости, истиранию, атмосферостойкости и значительному увеличению прочностных характеристик и показателей вязкости разрушения бетонов на всех структурных уровнях.

В настоящее время разработаны многочисленные способы управления формированием структуры фибробетонов и выявлены особенности изменения их свойств в зависимости от применения различных видов добавок, микронаполнителей и дисперсного армирования. Однако широкомасштабное практическое использование фибробетонов в строительной отрасли до сих пор не наблюдается. На наш взгляд, сдерживающим фактором в более широком практическом применении дисперсно-армированных фиброволокном бетонов является отсутствие утвержденной нормативной и технической базы по применению тех или иных разновидностей фиброволокна, а также руководящих нормативно-технических документов и инструкций по расчёту строительных конструкций из фибробетонов, в частности с применением полипропиленовых фиброволокон.

В НИЛ Ташкентского транспортного университета в течение многих лет ведутся исследования по изучению влияния полипропиленовой фибры FOX POLFIBER M12, производства компании Sartech Yapı Malzemeleri San. ve Tic. Ltd. Şti. (Турция) на свойства цементных бетонов. Как показали исследования наиболее эффективными с точки зрения повышенных эксплуатационных показателей являются фибробетоны с полипропиленовой фиброй на основе цементного связующего.

2. Методика исследования

Оптимизацию состава дисперсно-армированного полипропиленовым фиброволокном мелкозернистого бетона производили с использованием метода математического планирования экспериментов путем реализации трёхфакторного плана второго порядка на гиперкубе [16,17]. В качестве объекта исследования принята матрица модифицированного мелкозернистого фибробетона, содержащая в своем составе следующие компоненты: цемент, минеральный наполнитель-МЦП, полипропиленовую фибру FOX POLFIBER M12, поликарбоксилатный суперпластификатор MasterGlenium ACE 430 и вода затворения.

В экспериментальных исследованиях были использованы: портландцемент марки ЦЕМО 42.5Н производства ОАО «Ахангаранцемент» (ГОСТ 31108-2020), мелкий заполнитель - речной кварцевый песок Куйлюкского карьера с модулем крупности Мкр=1,81 и средней плотностью $\rho = 2000$ кг/м³ (ГОСТ 26633-2012), полипропиленовая фибра FOX POLFIBER M12 квадратного сечения размером 20 мкм и длиной волокна 12 мм производства компании Sartech Yapı Malzemeleri San. ve Tic. Ltd. Şti. (Турция), молотая цеолитсодержащая порода Бельтауского месторождения (Навоинская обл.) с удельной поверхностью $S_{уд} = 4000$ см²/г и следующим химическим составом, мас. %: SiO₂ - 50,8; Al₂O₃ - 26,4; Fe₂O₃ - 2,8; Na₂O - 10,3; MgO - 1,5; CaO - 1,8; H₂O⁺ - 6,4; потери при прокаливании 3,2, гиперпластификатор MasterGlenium ACE 430 производства компании

«BASF» (Германия), представляющий собой жидкость коричневого цвета плотностью $1,06 \pm 0,02$ г/см³. Для определения прочностных свойств фибробетона по стандартной методике изготавливали образцы-кубы размером 10x10x10 см. Образцы испытывались на прочность при сжатии в 28-суточном возрасте после нормального твердения согласно ГОСТ 10180-2012.

Обсуждение. В качестве исходных независимых переменных были выбраны следующие факторы: X₁ - содержание суперпластификатора в % от массы связующего; X₂ - содержание минерального наполнителя - МЦП в % от массы связующего; X₃ – расход полипропиленового фиброволокна, также в % от массы связующего. Уровни варьирования независимых переменных факторов приведены в таблице 1, а матрица планирования и результаты испытаний в таблице 2.

В качестве выходного параметра или параметра отклика был выбран: Y₁-предел прочности при сжатии матрицы мелкозернистого фибробетона, т.е. модифицированного цементного камня (R_{сж}), МПа.

Таблица 1
Исходные данные для реализации трёхфакторного плана экспериментов второго порядка

Факторы	Наименование факторов	Уровни варьирования факторов		
		-1	0	+1
X ₁	Содержание СП, %	0,5	1,0	1,5
X ₂	Содержание МЦП, %	10	15	20
X ₃	Расход ПФ, %	0,1	0,3	0,5

Таблица 2
Матрица планирования экспериментов и полученные результаты по ним

№ опытов	Матрица планирования			Результаты опытов R _{сж} , МПа
	X ₁	X ₂	X ₃	
1	-1	-1	-1	17,75
2	+1	-1	-1	20,66
3	-1	+1	-1	11,87
4	+1	+1	-1	14,85
5	-1	-1	+1	12,62
6	+1	-1	+1	15,68
7	-1	+1	+1	6,92
8	+1	+1	+1	9,85
9	-1,25	0	0	12,48
10	+1,25	0	0	15,52
11	0	-1,25	0	19,34
12	0	+1,25	0	13,38
13	0	0	-1,25	19,26
14	0	0	+1,25	14,02
15	0	0	0	16,25
16	0	0	0	17,02
17	0	0	0	17,14
18	0	0	0	16,65
19	0	0	0	16,88
20	0	0	0	16,70

3. Результаты исследования

После реализации матрицы планирования и статистической обработки полученных результатов экспериментов по 20 независимым опытам было получено следующее уравнение регрессии (математическая модель прочности при сжатии):

$$R_{сж}=16,68+4,03X_1+15,34X_2+14,015X_3-0,31X_1X_2+7,75X_1X_3-10,08X_2X_3-4,12X_12-4,86X_{22}-6,46X_{32};$$

Для проверки адекватности полученного уравнения регрессии, произведена оценка их статистической значимости путем сравнения расчетных значений критерия Фишера с табличным значениями. Результаты сравнения критерия Фишера по уравнениям регрессии представлены в таблице 3.

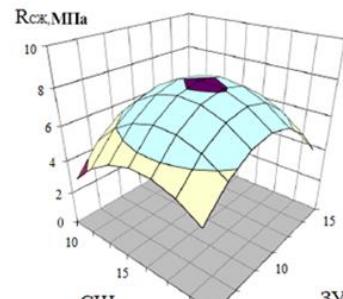
Таблица 3
Статистическая оценка полученных зависимостей по критерию Фишера

№ зависимости	Критерий Фишера	
	Табличное значение	Расчетное значение
1	5,05	4,99
2	5,05	4,31

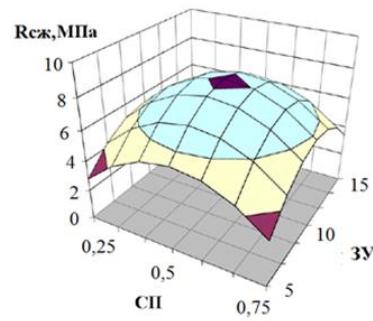
На рис.1 приведена графическая интерпретация результатов обработки математической модели с использованием программного продукта.

Как следует из математической модели ($R_{сж}$), с увеличением содержания суперпластификатора MasterGlenium ACE 430, минерального наполнителя - МЦП и полипропиленового фиброволокна FOX POLFIBER M12 в составе многокомпонентного цементного вяжущего наблюдается рост пределов прочности на сжатие модифицированного цементного камня. Совместное повышение содержания суперпластификатора MasterGlenium ACE 430, минерального наполнителя-МЦП и полипропиленовой фибры FOX POLFIBER M12 приводит к постепенному повышению прочности, а затем и к незначительному его снижению. Понижение прочности модифицированного цементного камня на основе многокомпонентного цементного вяжущего при повышенных значениях переменных факторов объясняется блокирующим действием на частицы цементного вяжущего молекул суперпластификатора и частиц минеральных наполнителей, что особенно ясно проявляется при их чрезмерном введении в состав композита.

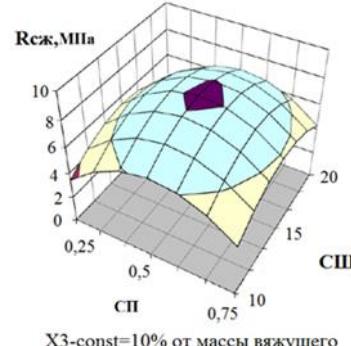
Как показывает анализ математической модели прочности при сжатии модифицированного цементного камня в выбранном интервале переменных факторов наиболее значимым фактором, влияющим на прочность цементного композита является фактор X_3 , т.е. содержание полипропиленового фиброволокна, вторым по значимости фактором математической модели является фактор X_2 , т.е. содержание минерального наполнителя-МЦП и наименее значимым фактором – X_1 , т.е. содержание суперпластификатора.



$X_1\text{-const}=0,5\%$ от массы вяжущего



$X_2\text{-const}=15\%$ от массы вяжущего



$X_3\text{-const}=10\%$ от массы вяжущего

Рис. 1. Влияние содержания компонентов матрицы мелкозернистого фибробетона на предел прочности при сжатии композита

Для выявления оптимальных значений переменных факторов математической модели был выполнен функциональный анализ полинома второй степени - $R_{сж}$. Для этого решали соответствующие уравнения относительно факторов X_1 , X_2 и X_3 , которое получали путем приравнивая нулю первых производных математической модели взятых относительно вышеуказанных переменных факторов.

4. Заключение

Таким образом, графоаналитическим анализом выполненным согласно [4] полученной математической модели предела прочности на сжатие модифицированного цементного камня были установлены оптимальные значения всех 3 переменных факторов, а именно: дозировки суперпластификатора MasterGlenium ACE 430 – 1,0 % от массы цементного вяжущего, содержания минерального наполнителя – МЦП – 18 % от массы цементного вяжущего, и содержания полипропиленовой фибры FOX POLFIBER M12 – 0,4 % от массы цементного вяжущего. Только при

соблюдении этих оптимальных значений переменных факторов достигается максимальное значение предела прочности на сжатие модифицированного цементного камня. Однако, для практических целей рекомендуется использовать следующий состав дисперсно-армированного полипропиленовым фиброволокном мелкозернистого бетона, наиболее рациональный с экономической точки зрения и характеризующийся высокими эксплуатационными показателями: дозировка суперпластификатора MasterGlenium ACE 430 – 0,8 % от массы цементного вяжущего, содержания минерального наполнителя – МЦП – 20 % от массы цементного вяжущего, и расход полипропиленового фиброволокна FOX POLFIBER M12 – 0,3 % от массы цементного вяжущего.

Как показывают экспериментальные исследования, предлагаемый состав фибробетонной смеси с полипропиленовым фиброволокном имеет несомненные преимущества по сравнению с известными составами. Мелкозернистые фибробетоны по разработанным составам модифицированной фибробетонной смеси могут быть использованы при изготовлении сборных и монолитных железобетонных изделий и конструкций для строительства зданий и сооружений жилищно-гражданского, промышленного, гидroteхнического и транспортного назначения.

Использованная литература / References

- [1] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Тургунбаев У.Ж., Цой В.М.; под.общ. ред. Адылходжаева А.И. Интенсивные технологии строительства. (Монография). -Ташкент, Изд-во «Фан ва технология», 2016. -228 с.
- [2] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. Под. общ. ред. Адылходжаева А.И. Композиционные строительные материалы (Монография). - «LAMBERT»ACADEMICPUBLISHING, 2018 -176 с.
- [3] Bhikshma V., Manipal K. Study on mechanical properties of recycled aggregate concrete containing steel fibers. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), №2. 2012.
- [4] Brandt A. M. Cement – Based Composites. Materials, Mechanical Properties and Performance. 2 edition. - Spon Press, 2017.

[5] Веревичева М.А., Берестянская А.А., Дериземля С.В. Выбор рациональных параметров фибрового армирования. УДК 693.55. Сборник научных трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение». Вып.82. – Днепр, 2015.

[6] Опанасенко Е. В., Берестянская А.А. Виды фибрового армирования Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди / Збірник наукових праць Національного університету водного господарства та природокористування. Вып. 30. – Рівне, 2015.

[7] Суховая, С. И. Фибробетон. Наука ЮУрГУ. Секции технических наук: материалы 67-й науч. конф.-Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015.

[8] Талантова К. В. Строительные конструкции с заданными свойствами на основе сталефибробетона: дис. д-ра техн. наук: 05.23.01 / Талантова Клара Васильевна; Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2009. Арипов Ж.А. Автореферат диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам. Модели и алгоритмы обеспечения надежности высокоскоростных сетей передачи данных. Ташкент. 2024. <https://api.ziyonet.uz/uploads/books/10000014/BS6nApfSKj24MY7.pdf>

Информация об авторах/ Information about the authors

Махаматалиев Иркин Муминович/ Makhamataliiev Irkin Muminovich	Ташкентский государственный транспортный университет Доктор технических наук, профессор, Email: erkinmah@mail.ru Tel.: +998908066545 https://orcid.org/0009-0002-5945-2565
Муминов Равшан Бахромович/ Muminov Ravshan Bakhromovich	Ташкентский государственный транспортный университет Докторант E-mail: rgfmuminov@yahoo.com https://orcid.org/0000-0002-5297-1736
Узаков Шербек Акбарович/ Uzakov Sherbek Akbarovich	Ташкентский государственный транспортный университет Докторант E-mail: uzakovsherbek9@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-5317-2602

1 section. Resource- and energy-saving construction materials and technologies

**A. Adylkhodjayev, I. Kadyrov, O. Tukhtasinov,
H. Sadykova**

Study of Porous Structure of Concrete on the Basic of Polyfunctional Additive and Low-Active Mineral Filler 7

Kh. Akramov, Sh. Rakhimov

Properties of fine-grained concrete from raw materials of our Republic 10

I. Makhamataliev, R. Muminov, Sh. Uzakov

Optimization of the composition of fine-grained concrete reinforced with polypropylene fiber 14

V. Soy, G. Nuriddinova

Critical analysis of modern technologies and formulations of non-autoclaved aerated concrete for production conditions in the Republic of Uzbekistan 18

N. Takhirzhanov, A. Ismaylova

Vermiculite-based energy-saving concretes: experimental study of strength 22

R. Auezbaev, P. Lepesbaeva

Structure of ceramic fragments with vermiculite additives in various forming methods 27

M. Musazhonov, A. Ibadullaev, U. Chorshanbiev

Study of polymer compositions for pipe washing on the hydraulic transport of dispersed systems 33

N.V. Drobchenko

The use of energy-efficient and environmentally friendly materials in modern construction 37

G. Moskvitin, V. Arkhipov, M. Pugachev

Production of non-corrosive coatings based on copper and zinc by gas-dynamic method 42

M. Mekhmonov

Theoretical and experimental studies of embankment reinforcement in the area where the railway roadbed meets the bridge 48

V. Soy, U. Shermukhamedov, N. Mukhammadiev,

Vang Meng, Zhao Yue

Fine-grained basalt-fiber concrete for reinforced concrete structures of formwork-free production 52