

УДК 666.9.017

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 61.35.00

Научная специальность ВАК: 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов  
(технические науки)

EDN tpxhsz

DOI 10.62980/2076-0655-2026-422-433

## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ШТУКАТУРНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУЛЬФОАЛЮМИНАТНОГО ЦЕМЕНТА

Мин Хейн Хтет<sup>1</sup>, Аунг Чжо Чжо<sup>1</sup>, Потапова Е.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

---

### АННОТАЦИЯ

В данной работе рассмотрены особенности разработки штукатурных гидроизоляционных смесей с использованием сульфоалюминатного цемента (САЦ). Основное внимание уделялось подбору компонентов, обеспечивающих повышение прочности, водонепроницаемости и надёжного сцепления раствора с основанием. Применение пластифицирующих добавок Melflux 4930 и Melment F-10 способствует интенсификации гидратационных процессов, формированию оптимальной структуры цементного камня и улучшению эксплуатационных свойств. Показано, что регулирование содержания САЦ в композиции позволяет контролировать сроки схватывания и раннюю прочность вяжущего, что особенно важно при выполнении ремонтных и восстановительных работ. Оптимизация состава сухих смесей с фракционированным кварцевым песком и модификаторами способствует повышению долговечности покрытий и сокращению времени строительных операций. Полученные результаты могут быть использованы для разработки эффективных гидроизоляционных составов и совершенствования технологий их применения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сульфоалюминатный цемент, портландцемент штукатурная гидроизоляция, пластификаторы, ранняя прочность, водонепроницаемость, оптимизация состава

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Мин Хейн Хтет, Аунг Чжо Чжо, Потапова Е.Н. Разработка составов штукатурной гидроизоляционной смеси с использованием сульфоалюминатного цемента. // Техника и технология силикатов. – 2025. – Т. 32, № 5. – С. 422–433. <https://doi.org/10.62980/2076-0655-2026-422-433>, EDN tpxhsz.

Type of article - scientific article

OECD 2.04 Chemical engineering

II ENGINEERING, CHEMICAL

EDN tpxhsz

DOI 10.62980/2076-0655-2026-422-433

## DEVELOPMENT OF COMPOSITIONS OF PLASTER WATERPROOFING MIXTURE USING SULFOALUMINATE CEMENT

Min Hein Htet<sup>1</sup>, Aung Kyaw Kyaw<sup>1</sup>, Potapova E.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> D. I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology (RSTU)

---

### ABSTRACT

In this paper, the features of the development of plaster waterproofing mixtures using sufoaluminate cement (SAC) are considered. The main attention was paid to the selection of components that increase the strength, water resistance and reliable adhesion of the mortar to the substrate. The use of plasticizing additives Melflux 4930 and Melment F-10 contributes to the intensification of hydration processes, the formation of the optimal structure of cement stone and the improvement of operational properties. It is shown that the regulation of the CAC content in the composition makes it possible to control the setting time and early strength of the binder, which is especially important when performing repair and restoration work. Optimization of the composition of dry mixes with fractionated quartz sand and modifiers helps to increase the durability of coatings and reduce the time of construction operations. The results obtained can be used to develop effective waterproofing compounds and improve their application technologies.

**KEY WORDS:** sufoaluminate cement, Portland cement, plaster waterproofing of mixtures, plasticizers, early strength, water resistance, composition optimization

**FOR CITATION:** Min Hein Htet, Aung Kyaw Kyaw, Potapova E.N. Development of plaster waterproofing mix compositions using sulfoaluminate cement // Engineering and Technology of Silicates. – 2025. Vol. – 32, No5. – Pp. 422 – 433. <https://doi.org/10.62980/2076-0655-2026-422-433>, EDN tpxhsz.

## ВВЕДЕНИЕ

Бетонные конструкции подвержены образованию трещин, фрагментации и другим дефектам в процессе длительной эксплуатации. Для ремонта бетонных элементов часто применяются полимерные материалы [1], полимер-модифицированные цементные материалы [2,3], а также цементные материалы. Учитывая долговечность, механические свойства, размерную стабильность, широкую сферу применения, экономическую эффективность и совместимость с цементобетонными материалами, цементные быстротвердеющие ремонтные составы являются наиболее широко исследуемыми и применяемыми.

Обычный портландцемент в настоящее время является наиболее широко производимым вяжущим материалом, обладающим такими преимуществами, как низкая стоимость и широкий спектр применения. Однако в процессе производства обычного портландцемента выделяется углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), на долю которого приходится около 5 – 8% [4] от общего объема глобальных выбросов  $\text{CO}_2$ , что существенно затрудняет достижение целей «углеродного пика» и «углеродной нейтральности». В сравнении с клинкером обычного портландцемента, клинкер сульфоалюминатного цемента требует меньшего расхода известняка при производстве, обжигается при более низких температурах [5-7] и обладает более высокой размольной способностью [8-11].

Сульфоалюминатный цемент (САЦ) характеризуется быстрым схватыванием, высокой ранней прочностью, стабильностью линейных размеров и долговечностью [7,11-13]. Его гидратация протекает значительно быстрее по сравнению с портландцементом (ПЦ) [6, 7, 11, 14-15]. В системе портландцемент-сульфоалюминатный цемент ускоренная гидратация САЦ сопровождается потреблением воды и умеренным повышением температуры, что интенсифицирует общий процесс гидратации. Образующиеся гидраты, в частности этtringит, служат центрами зародышеобразования, активируя гидратацию ПЦ [16-24] и обеспечивая ускоренное схватывание и развитие ранней прочности [25-27].

Составы для гидроизоляции, характеризующиеся высокой плотностью и прочностью цементного камня, изготавливаются на основе портландцемента. Однако данный вяжущий материал отличается увеличенными сроками схватывания и низкой ранней прочностью. В отличие от него, сульфоалюминатный цемент характеризуется коротким сроком схватывания и интенсивным набором прочности в первые сутки твердения. Учитывая различие в свойствах этих вяжущих, можно предположить, что варьирование их соотношения в композиции позволит целенаправленно регулировать характеристики получаемого материала.

Поэтому целью исследования является разработка составов штукатурной гидроизоляционной смеси с использованием сульфоалюминатного цемента.

### Материалы и методы исследования

В работе использованы портландцемент и сульфоалюминатный цемент производства АО «Подольск-Цемент», а также пластифицирующие добавки - гиперпластификатор Melflux 4930 и суперпластификатор Melment F-10.

Нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста определяли на малых образцах в соответствии с [28];

## INTRODUCTION

Concrete structures are prone to cracking, fragmentation, and other defects during long-term operation. Polymer materials [1], polymer-modified cement materials [2,3], and cement materials are often used to repair concrete elements. Taking into account durability, mechanical properties, dimensional stability, wide range of applications, economic efficiency and compatibility with cement-concrete materials, cement fast-hardening repair compounds are the most widely researched and used.

Conventional Portland cement is currently the most widely produced binder material, with advantages such as low cost and a wide range of applications. However, in the production process of conventional Portland cement, carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) is released, which accounts for about 5 – 8% [4] of total global  $\text{CO}_2$  emissions, which significantly complicates the achievement of the goals of "carbon peak" and "carbon neutrality". In comparison with the clinker of ordinary Portland cement, the clinker of sulfoaluminate cement requires less limestone consumption during production, burns at lower temperatures [5-7] and has a higher grinding capacity [8-11].

Sulfoaluminate cement (SAC) is characterized by fast setting, high early strength, linear dimensional stability and durability [7,11-13]. Its hydration proceeds much faster compared to Portland cement (PC) [6, 7, 11, 14-15]. In the Portland cement-sulfoaluminate cement system, accelerated hydration of SAC is accompanied by water consumption and a moderate increase in temperature, which intensifies the overall hydration process. The resulting hydrates, in particular ettringite, serve as nucleation centers, activating PC hydration [16-24] and providing accelerated setting and early strength development [25-27].

Waterproofing compounds, characterized by high density and strength of cement stone, are made on the basis of Portland cement. However, this binder is characterized by extended setting times and low early strength. In contrast, sulfoaluminate cement is characterized by a short setting time and intensive strength gain on the first day of hardening. Given the difference in the properties of these binders, it can be assumed that varying their ratio in the composition will make it possible to purposefully adjust the characteristics of the resulting material.

Therefore, the purpose of the study is to develop compositions of plaster waterproofing mixtures using sulfoaluminate cement.

### Materials and methods of research

The work used Portland cement and sulfoaluminate cement produced by Podolsk-Cement JSC, as well as plasticizing additives - Melflux 4930 hyperplasticizer and Melment F-10 superplasticizer.

The normal density and setting time of the cement dough were determined on small samples in accordance with [28]; flexural and compressive strength – on samples of 1x1x3 cm according to [28] and on standard samples 40 x40 x160mm according to GOST 30744-2001<sup>1</sup>

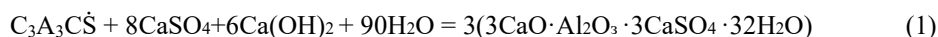
прочность при изгибе и сжатии — на образцах размером 1x1x3 см по [28] и на стандартных образцах 40x40x160мм согласно ГОСТ 30744 – 2001<sup>1</sup>

Вязущее для штукатурной гидроизоляции должно удовлетворять ряду требований, поэтому исследования состава сухой смеси проводили с использованием фракционированного кварцевого песка. Содержание мелкого заполнителя в смеси составляло 50 и 60%.

Для штукатурных гидроизоляционных составов определяли подвижность по распылу конуса, согласно ГОСТ 58277-2018<sup>2</sup> (п.4.4), водоудерживающую способность (п.6), предел прочности на растяжение при изгибе и при сжатии (п.7) образцов-призм размерами 160x40x40 мм.

### Эксперименты и результаты обсуждения

Особенностью композиционного вяжущего на основе сульфоалюминатного цемента и портландцемента является способность минерала  $C_3A_3CS$  взаимодействовать с портландитом, выделяющимся при гидратации силикатной фазы портландцемента. При достаточном содержании сульфата кальция в системе это способствует образованию максимального количества этtringита.



Происходит снижение концентрации ионов кальция в жидкой фазе цементного камня, что интенсифицирует процесс гидратации силикатных фаз портландцемента, а также приводит к снижению значения pH.

Проведено исследование влияния композиционного цемента, в котором содержание САЦ изменялось от 10 до 90% (таблица 1).

**ТАБЛИЦА 1 НОРМАЛЬНАЯ ГУСТОТА И СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ЦЕМЕНТА**

**Table 1 Normal density and setting time of composite cement**

№	Состав композиционного цемента Composition of the composite of cement	Нормальная густота, % Normal consistency, %	Сроки схватывания, мин Setting time, min	
			начало initial	окончание final
1	100 % САЦ	62,5	25	40
2	90 % САЦ + 10 % ПЦ	55,0	27	50
3	80 % САЦ + 20 % ПЦ	52,5	28	55
4	60 % САЦ + 40 % ПЦ	45,0	29	57
5	50 % САЦ + 50 % ПЦ	45,0	29	59
6	40 % САЦ + 60 % ПЦ	40,0	29	59
7	20 % САЦ + 80 % ПЦ	37,0	29	60
8	10 % САЦ + 90 % ПЦ	36,0	34	60
9	100 % ПЦ	30,0	40	250

Водопотребность портландцемента составляет 30,0%, тогда как для сульфоалюминатного цемента данный показатель достигает 62,5%. Установлено, что увеличение содержания САЦ в композиции приводит к росту нормальной густоты и сокращению сроков схватывания: начало - с 34 до 25 мин, окончание - с 60 до 40 мин. Такой эффект обусловлен интенсивным

The binder for plaster waterproofing must meet a number of requirements, therefore, studies of the composition of the dry mixture were carried out using fractionated quartz sand. The content of fine aggregate in the mixture was 50 and 60%.

For plaster waterproofing compositions, the cone spreading mobility was determined in accordance with GOST 58277 - 2018<sup>2</sup> (clause 4.4), water retention capacity (clause 6), and tensile strength under bending and compression (clause 7) of 160x40x40 mm prism samples.

### Experiments and discussion

A special feature of the composite binder based on sulfoaluminate cement and Portland cement is the ability of the mineral  $C_3A_3CS$  to interact with portlandite released during hydration of the silicate phase of Portland cement. With a sufficient content of calcium sulfate in the system, this contributes to the formation of the maximum amount of ettringite.

There is a decrease in the concentration of calcium ions in the liquid phase of cement stone, which intensifies the hydration process of the silicate phases of Portland cement, and also leads to a decrease in pH.

A study was conducted on the effect of composite cement, in which the content of SAC varied from 10 to 90% (table 1).

The water consumption of Portland cement is 30.0%, while for sulfoaluminate cement this indicator reaches 62.5%. It was found that an increase in the SAC content in the composition leads to an increase in normal density and a reduction in setting time: the beginning is from 34 to 25 minutes, the end is from 60 to 40 minutes. This effect is due to the intensive formation of ettringites in the early stages of

<sup>1</sup> ГОСТ 30744 - 2001. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. МНТКС. М.2002.

GOST 30744-2001. Test methods using polyfractional sand. MNTKS. M.2002.

<sup>2</sup> ГОСТ 58277 - 2018. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний - М.: Стандартиформ, 2019 - 21с.  
GOST 58277-2018. Dry construction mixtures based on cement binders. Test methods. Moscow: Standartinform, 2019, 21 p.

образованием этtringита на ранних стадиях гидратации. Регулирование доли САЦ позволяет целенаправленно варьировать сроки схватывания, вяжущего в соответствии с требованиями конкретных областей применения. Для исследования прочностных характеристики композиционного вяжущего были выбраны составы № 2-3 и № 7-8, содержащие 10-20% САЦ в сочетании с портландцементом (табл.2).

hydration. Regulation of the proportion of SAC allows you to purposefully vary the setting time of the binder in accordance with the requirements of specific areas of application. To study the strength characteristics of the composite binder, formulations No. 2-3 and No. 7-8 containing 10-20% CAC in combination with Portland cement were selected (Table 2).

**ТАБЛИЦА 2 ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО**  
**Table 2 Strength characteristics of composite binder**

№№	Состав Composition	Прочность МПа, при твердении, сут, МПа Strength MPa, during hardening, day, MPa							
		при изгибе (in bending)				при сжатии (in compression)			
		1	3	7	28	1	3	7	28
Состав 1	100% САЦ	3,5	5,0	5,7	6,0	28,7	35,8	36,3	39,5
Состав 2	90 % САЦ + 10 % ПЦ	6,0	6,7	7	7,6	27,3	27,8	28,51	31,6
Состав 3	80 % САЦ + 20 % ПЦ	4,4	5,8	6,3	6,7	17,0	19,0	28,7	30,1
Состав 7	20 % САЦ + 80 % ПЦ	3,5	6,3	6,5	7,5	15,5	25,1	38,6	43,4
Состав 8	10 % САЦ + 90 % ПЦ	6,2	7,2	7,4	8,5	20,7	40,5	50,8	56,9

Анализ экспериментальных данных показал, что наибольшая прочность при изгибе на всех сроках твердения достигается в составе с содержанием 10 % САЦ и 90 % ПЦ. В ранние сроки твердения максимальная прочность при сжатии (27,3-28,7 МПа) зафиксирована у составов № 1 и № 2, содержащих 90 и 80 % САЦ соответственно. В 28-суточном возрасте наибольшие значения прочности при сжатии продемонстрировали состав № 7 (43,4 МПа) и состав № 8 (56,9 МПа).

Analysis of experimental data has shown that the highest bending strength at all periods of hardening is achieved in a composition containing 10% SAC and 90% PC. In the early stages of hardening, the maximum compressive strength (27.3-28.7 MPa) was recorded for formulations No. 1 and No. 2 containing 90 and 80% SAC, respectively. At the age of 28 days, composition No. 7 (43.4 MPa) and composition No. 8 (56.9 MPa) demonstrated the highest values of compressive strength.

Таким образом, состав № 8 (10 % САЦ + 90 % ПЦ) характеризуется умеренной водопотребностью (36%), удельно-высокими сроками схватывания (34-60 мин) и высокими прочностными показателями в возрасте 28 сут (изгиб - 8,5 МПа, сжатие - 56,9 МПа). На его основе разработаны составы штукатурных гидроизоляционных смесей.

Thus, composition No. 8 (10% SAC + 90% PC) is characterized by moderate water consumption (36%), satisfactory setting time (34-60 minutes) and high strength indicators at the age of 28 days (bending - 8.5 MPa, compression - 56.9 MPa). Based on it, the compositions of plaster waterproofing mixtures have been developed.

К 28-м суткам твердения композиционного вяжущего (90 % ПЦ и 10 % САЦ) формируется плотная микроструктура цементного камня, где основным фазовым компонентом является гидросиликат кальция (C-S-H), образующий разветвленную волокнистую структуру (рис.1 а, б).

By the 28th day of hardening of the composite binder (90% PC and 10% SAC), a dense microstructure of cement stone is formed, where the main phase component is calcium hydroxylate (C-S-H), which forms a branched fibrous structure (Fig.1 a,b).

Повышенное содержание САЦ способствует интенсивному образованию этtringита ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ ), кристаллизующегося в игольчатой или столбчатой форме и локализуящегося в порах и межзерновых зонах (рис. 1 в, г). К 28 суткам твердения отмечается его частичная стабилизация и перераспределение, что ведёт к уплотнению микроструктуры и снижению капиллярной пористости.

The increased content of SAC contributes to the intensive formation of ettringite ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ ), crystallizing in a needle-like or columnar form and localized in pores and intergranular zones (Fig.1 c, d). By the 28th day of hardening, its partial stabilization and redistribution are noted, which leads to a compaction of the microstructure and a decrease in capillary porosity

С целью снижения водопотребности композиционного вяжущего и формирования более плотной структуры цементного камня в систему вводили пластифицирующую добавку Melflux 4930 в количестве 0,1-0,6 % от массы цемента (таблица 3).

In order to reduce the water consumption of the composite binder and form a denser cement stone structure, Melflux 4930 plasticizing additive was introduced into the system in an amount of 0.1-0.6% by weight of cement (table.3).

Введение гиперпластификатора приводит к снижению нормальной густоты цементного теста с 36,0 до 28,0 % и сопровождается увеличением сроков схватывания

The introduction of a hyperplasticizer leads to a decrease in the normal density of the cement dough from 36.0 to 28.0% and is accompanied by an increase in setting time (beginning from 34 to 52 minutes, end from 60 to 80 minutes),

РИСУНОК 1

СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО, ТВЕРДЕВШЕГО 28 сут. Увеличение: а, в – 5000 крат; б, г – 15000 крат

Figure 1

Structure of composite binder hardened for 28 days. Magnification: a, c – x 5000; b, d – x 15000

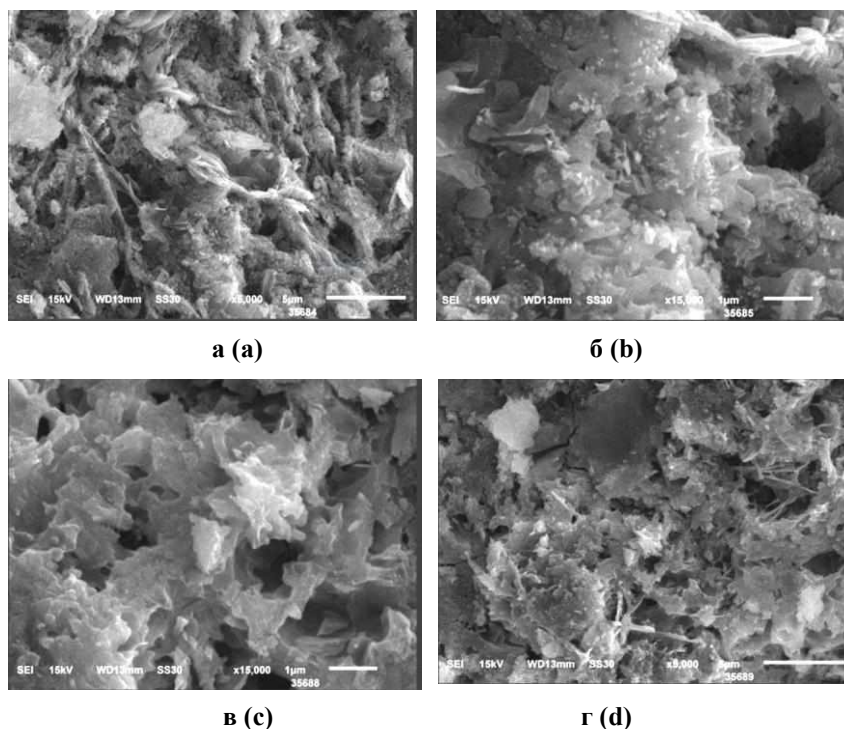


ТАБЛИЦА 3 СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА С ДОБАВКОЙ Melflux 4930  
Table 3 Properties of cement paste with the additive Melflux 4930

Состав Composition	Содержание, мас. % Content, wt%	Нормальная густота, % Normal consistency	Сроки схватывания, мин Setting time (min)	
			начало initial	окончание final
90 % ПЦ + 10 % САЦ	0	36,0	34	60
	0,1	35,0	34	67
	0,2	32,5	37	65
	0,3	31,5	41	65
	0,4	30,0	50	67
	0,5	29,0	50	68
	0,6	28,0	52	80

(начало — с 34 до 52 мин, конец — с 60 до 80 мин), что свидетельствует о замедлении гидратационных процессов и улучшении реологических свойств системы. Снижение значений НГ приводит к росту прочности, как при изгибе, так и при сжатии (рис. 2).

Экспериментальные данные показали, что оптимальные прочностные характеристики при изгибе и сжатии достигаются при содержании гиперпластификатора 0,2 – 0,3 мас. %. К 28 суткам прочность при изгибе возрастает с 8,5 до 13,7-13,9 МПа, а при сжатии – с 56,9 до 59,365,6 МПа. На основании полученных результатов для разработки штукатурной гидроизоляционной смеси выбрана дозировка гиперпластификатора Melflux 4930 в количестве 0,25 мас. %.

К 28 суткам твердения состава 90% ПЦ + 10% САЦ с добавлением 0,3% гиперпластификатора (Melflux) в структуре цементного камня присутствуют низко- и высокоосновные гидросиликаты аморфной формы, а также гидроалюминаты гексагональной сингонии (CAH<sub>10</sub>) в виде призм и пластинок; возможна фиксация моногидросульфалюмината кальция МГСАК (рис. 3).

which indicates a slowdown in hydration processes and an improvement in the rheological properties of the system. A decrease in NC values leads to an increase in strength, both during bending and compression (Fig. 2).

Experimental data have shown that optimal bending and compression strength characteristics are achieved with a hyperplasticizer content of 0.2 – 0.3% by weight. By day 28, bending strength increases from 8.5 to 13.7-13.9 MPa, and compression strength increases from 56.9 to 59.3-65.6 MPa. Based on the results obtained, the dosage of the Melflux 4930 hyperplasticizer in the amount of 0.25 wt. % was selected for the development of a plaster waterproofing mixture.

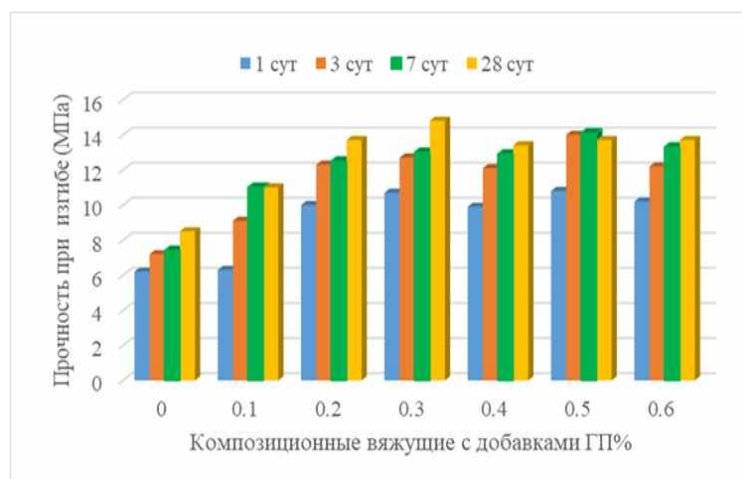
By the 28th day of hardening of the composition of 90% PC + 10% AC with the addition of 0.3% hyperplasticizer (Melflux), low- and high-base amorphous hydrosilicates, as well as hexagonal syngony hydroaluminates (CAH<sub>10</sub>) in the form of prisms and plates, are present in the cement stone structure; fixation of calcium monohydrosulfoaluminate is possible (Fig. 3).

РИСУНОК 2

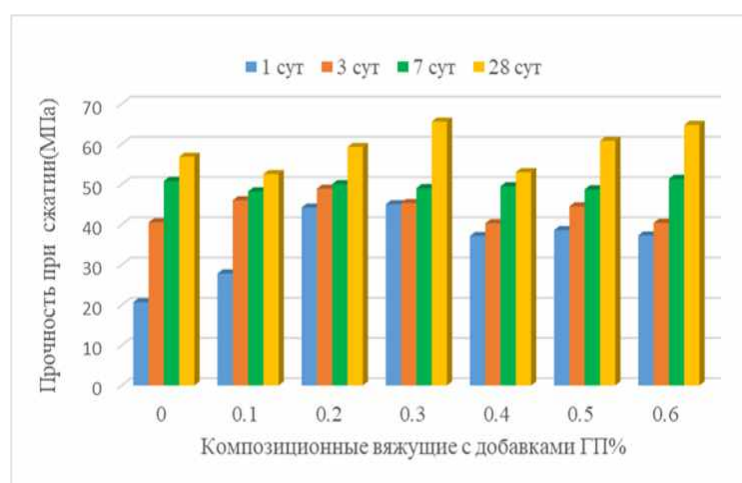
ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГИПЕРПЛАСТИФИКАТОРА Melflux 4930 НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ при изгибе (а) при сжатии (б).

Figure 2

The effect of the content of Melflux 4930 hyperplasticizer on the bending strength (a) and compression (b) of cement stone



а (а)



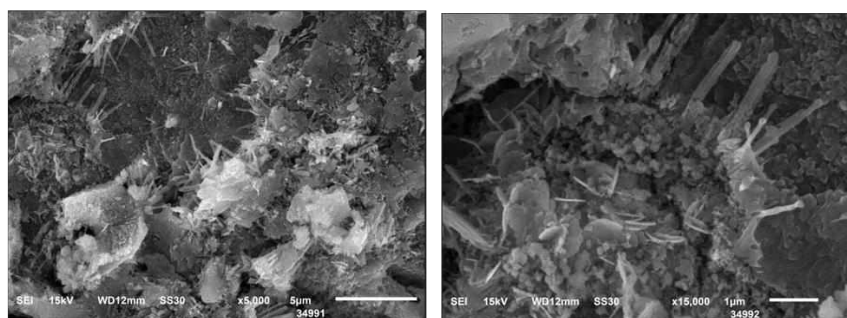
б (б)

РИСУНОК 3

СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО С ДОБАВКОЙ Melflux 4930, ТВЕРДЕВШЕГО 28 СУТ: Увеличение, а – 5000 крат; б – 15000 крат

Figure 3

The structure of the composite binder with the addition of Melflux 4930, hardened for 28 days: Magnification, а – x 5000; б – x 15000



а (а)

б (б)

Аналогичные исследования были выполнены и для суперпластификатора Melment F-10 с целью оценки его влияния на свойства композиционного вяжущего (90% ПЦ + 10% САЦ). Для снижения водопотребности и уплотнения цементного камня в композиционное вяжущее вводили пластификатор Melment F-10 в количестве 0,1-0,6 % от массы цемента (табл. 4).

Добавление суперпластификатора снижает нормальную густоту цементного теста с 36,0 до 31,0 %, однако менее существенно, чем гиперпластификатор. При использовании Melment F-10 начало схватывания остаётся практически неизменным (34-35 мин), тогда как конец увеличивается с 60

Similar studies were performed for the Melment F-10 superplasticizer in order to evaluate its effect on the properties of the composite binder (90% PC + 10% SAC). To reduce water consumption and cement stone compaction, Melment F-10 plasticizer was introduced into the composite binder in an amount of 0.1-0.6% by weight of cement (Table 4).

The addition of a superplasticizer reduces the normal consistency of the cement paste from 36.0 to 31.0 wt.%, although to a lesser extent than a hyperplasticizer. When Melment F-10 is used, the initial setting time remains practically unchanged (34-35 min), whereas the final setting time increases from 60 to 80 min. The decrease

до 80 мин. Снижение значений НГ приводит к росту прочности, как при изгибе, так и при сжатии (рис.4).

in normal consistency values leads to an increase in strength, both in bending and in compression (Fig. 4).

ТАБЛИЦА 4 СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА С ДОБАВКОЙ Melment F-10  
Table 4 Properties of cement paste with the addition of Melment F-10

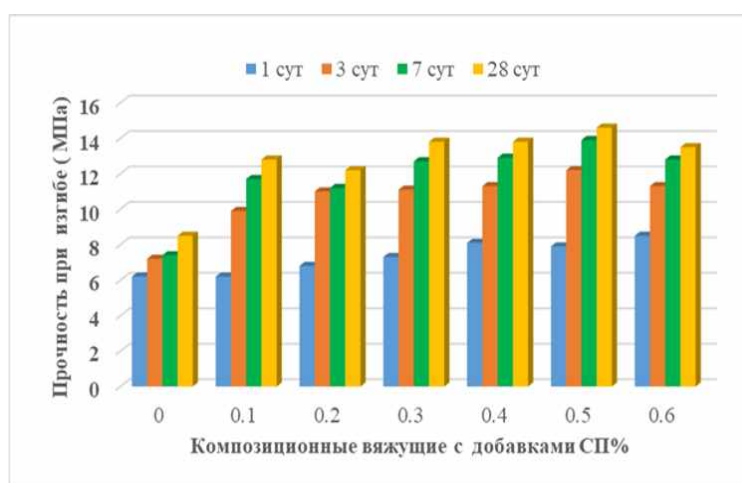
Состав Composition	Содержание, мас. % Content, wt%	Нормальная густота, % Normal consistency, %	Сроки схватывания, мин Setting time (min)	
			начало initial	окончание final
90 % ПЦ + 10 % САЦ	0	37,0	34	60
	0,1	35,5	35	70
	0,2	34,0	35	72
	0,3	32,5	35	76
	0,4	32,0	35	78
	0,5	31,5	35	80
	0,6	31,0	35	80

РИСУНОК 4

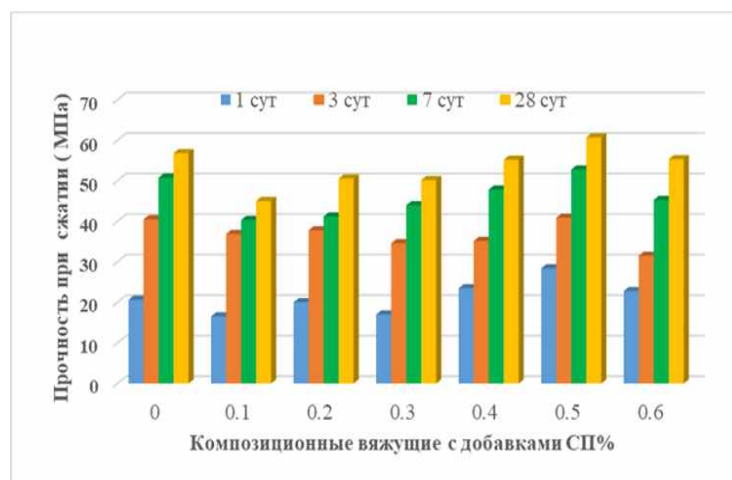
ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СУПЕР-ПЛАСТИФИКАТОРА Melment F-10 НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ при изгибе (а) при сжатии (б).

Figure 4

The effect of the content of Melment F-10 superplasticizer on the bending strength (a) and compression (b) of cement stone



а (а)



б (б)

Из рис. 4 следует, что добавка Melment F-10 (0,1-0,6 мас. %) способствует повышению прочности при изгибе на всех стадиях твердения. Прочность при сжатии возрастает в ранние сроки при содержании 0,4 мас. % и выше, а к 28 суткам положительный эффект сохраняется только при концентрации 0,5 мас. %. Оптимальным признано введение 0,5 мас. % Melment F-10, обеспечивающее прочность при изгибе 14,6 МПа и при сжатии 60,8 МПа.

As shown in Fig. 4, the addition of Melment F-10 (0.1-0.6 wt.%) promotes an increase in flexural strength at all stages of hardening. Compressive strength increases at early ages when the content is 0.4 wt.% or higher, while by 28 days the positive effect is retained only at a concentration of 0.5 wt.%. The introduction of 0.5 wt.% Melment F-10 is considered optimal, providing a flexural strength of 14.6 MPa and a compressive strength of 60.8 MPa.

К 28 суткам твердения композиционный цементный камень (90 % ПЦ + 10 % САЦ) с 0,5 мас. % Melment F- 10 формирует плотную малопористую структуру с преобладанием С-С-Н, стабилизированным этtringитом и минимальным содержанием непрореагировавших фаз(рис.5), что обеспечивает высокие эксплуатационные свойства.

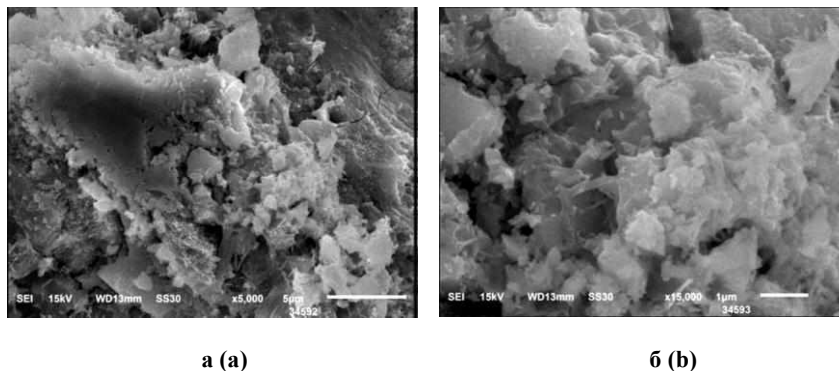
By 28 days of curing, the composite cement stone (90% PC + 10% SAC) with 0.5 wt.% Melment F-10 develops a dense, low-porosity microstructure dominated by C-S-H, stabilized ettringite, and a minimal number of unreacted phases (Fig. 5), which ensures high performance characteristics

**РИСУНОК 5**

**СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО С ДОБАВКОЙ Melment F-10, ТВЕРДЕВШЕГО 28 СУТ:**  
Увеличение, а – 5000 крат;  
б – 15000 крат

**Figure 5**

**The structure of the composite binder with the addition of Melment F-10, hardened for 28 days:**  
Magnification, a – x 5000; b – x 15000



Для оптимальных составов с пластифицирующими добавками Meflux (4930) и суперпластификатором Melment F-10 определены подвижность и живучесть композиционного состава (табл. 5).

Увеличение содержания мелкого заполнителя (песка) при использовании гиперпластификатора снижает водопотребность растворной смеси с 28,0 до 25,0 %, однако сопровождается потерей подвижности и живучести. Уменьшение доли вяжущего в присутствии суперпластификатора также уменьшает водопотребность (с 35,0 до 30,5 %), при этом наблюдается аналогичное снижение подвижности и живучести смеси (табл. 5).

Прочностные показатели композиции с добавкой Melment несколько ниже, чем в случае применения добавки Meflux, но тенденции сохраняются (табл. 6). Прочность композиционного состава зависит от соотношения вяжущее/песок. Вероятно, в присутствии пластификатора в ранние сроки происходит некоторое замедление процессов гидратации и твердения, а затем к 28 сут процесс ускоряется за счет меньшего содержания воды в системе.

For the optimal compositions containing the plasticizing additive Meflux (4930) and the superplasticizer Melment F- 10, the workability and cohesiveness of the composite mixture were determined (table 5).

Increasing the content of fine aggregate (sand) when using a hyperplasticizer reduces the water demand of the mortar from 28.0 to 25.0%, but is accompanied by a loss of workability and cohesiveness. A decrease in the binder fraction in the presence of the superplasticizer also reduces the water demand (from 35.0 to 30.5%), while a similar decline in the mixture’s workability and cohesiveness is observed (table 5).

The strength characteristics of the composition with the addition of Melment are slightly lower than those observed with the use of Meflux, but the overall trends are maintained (table 6). The strength of the composite mixture depends on the binder-to-sand ratio. In the presence of a plasticizer, early-age hydration and hardening processes are likely somewhat delayed, while by 28 days the process accelerates due to the reduced water content in the system.

**ТАБЛИЦА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДВИЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА**  
**Table 5. Results of mobility and survivability of composite composition**

Состав Composition	Содержание, % Content, %		НГ, % NC, %	Подвижность (см) Flowability (sm)
	Вяжущее binder	песок sand		
10% САЦ +90% ПЦ+ 0,25% Meflux 4930	50	50	25,0	11,0
	60	40	28,0	9,5
10% САЦ +90% ПЦ+ 0,5% Melment F-10	50	50	30,5	10,0
	60	40	35,0	9,0

Далее, согласно ГОСТ 58277-2018, определяли капиллярное водопоглощение (п. 8), прочность сцепления (адгезию) раствора с основанием (п. 9), морозостойкость затвердевших растворов (п. 10) и водонепроницаемость В табл. 7 приведены полученные значения в сравнении с

Furthermore, according to GOST 58277-2018, the capillary water absorption (clause 8), the bond strength (adhesion) of the mortar to the substrate (clause 9), the frost resistance of hardened mortars (clause 10), and the water impermeability were determined. Tables 7 present the

нормативными показателями по ГОСТ 34669-2020<sup>3</sup> и obtained values in comparison with the standard requirements of GOST 34669-2020<sup>3</sup> and GOST 34885-2022<sup>4</sup>.

**ТАБЛИЦА 6 ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА**  
**Table 6 Strength parameters of the composite composition**

Состав Composition	Содержание, % Content, %		Прочность, сут МПа Strength MPa, during hardening, day, MPa			
	вяжущее binder	песок sand	при изгибе (in bending)		при сжатии (in compression)	
			1 сут (day)	28 сут (day)	1 сут(day)	28 сут(day)
10% САЦ +90% ПЦ+0,25% Melflux 4930	50	50	8,3	17,5	60,1	93,1
	40	60	5,9	15,1	41,1	100,1
10% САЦ +90% ПЦ+0,5% Melment F-10	50	50	5,1	13,7	44,5	82,0
	40	60	6,3	11,2	31,8	86,3

**ТАБЛИЦА 7 СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА**  
**Table 7 Properties of the composite composition**

Показатель Indicator	Значение показателя The value of the indicator			
	Полученное с Melflux Received from Melflux	Полученное с Melment Received from Melment	По ГОСТ 34669- 2020 According to GOST 34669-2020	По ГОСТ 34885- 2022 According to GOST 34885-2022
Подвижность растворных смесей Flowability of mortar	11,0- 9,5 см	10,0 - 9,0 см	не менее Пк3	
Сохраняемость первоначальной подвижности растворных смесей Retention of the initial workability of mortar	35 мин	32 мин	не менее 30 мин	
Водоудерживающая способность растворных смесей Water retention of mortar	93%	91%	не менее 90 %	
Прочность при сжатии в возрасте 28 сут Compressive strength at the age of 28 days	93-100 МПа	82,0 - 82,3 МПа		не менее 25 МПа
Адгезия к бетону, 28 сут Adhesion to concrete, 28 days	2,6 МПа	2,4 МПа		не менее 2,0 МПа
Линейная относительная деформация расширения Linear relative expansion strain	0,4 мм/м	0,4 мм/м		не менее 0,2 мм/м и не более 0,8 мм/м в возрасте 14 и 28 сут
Марка по водонепроницаемости в возрасте 28 сут Brand for water resistance at the age of 28 days	0,78	0,78		не менее W6

### Заключение

Таким образом свойства растворной смеси с фракционированным песком зависят от соотношения вяжущего и песка в композиции. Повышенная концентрация песка в сочетании с пластификаторами способствует более плотной структуре затвердевшего раствора, снижению

### Conclusion

Thus, the properties of mortar with fractionated sand depend on the binder-to-sand ratio in the composition. An increased sand content in combination with plasticizers promotes a denser microstructure of the hardened mortar, reduces porosity, and enhances mechanical strength. Test re-

<sup>3</sup> ГОСТ 34885-2022 Система сухих строительных гидроизоляционных смесей на цементном вяжущем для герметизации статических швов (трещин) в строительных конструкциях. Технические условия. - М. Стандартинформ, 2022. - 16 с.

GOST 34885-2022. Dry construction waterproofing mixture system based on cement binder for sealing static joints (cracks) in building structures. Technical conditions. - M. Standartinform, 2022. - 16 p.

<sup>4</sup> ГОСТ 34669-2020 Смеси сухие строительные гидроизоляционные проникающие на цементном вяжущем. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2020. - 22 с.

GOST 34669-2020 Dry construction waterproofing penetrating mixes based on cement binders. Specifications. - Moscow: Standartinform, 2020. - 22 p.

пористости и увеличению механической прочности. Результаты испытаний показали, что состав с содержанием 50 % вяжущего и 50 % песка демонстрирует более высокую раннюю прочность как при изгибе и, так и при сжатии по сравнению с составом 40 % вяжущего и 60 % песка. На первые сутки твердения данный состав обеспечивает прочность при изгибе 8,3 МПа и прочность при сжатии 60,1 МПа. В возрасте 28 сут прочность затвердевшего раствора композиции с 0,25 % Melflux 4930 составляет 15,1-17,5 МПа при изгибе и 93,1-100,0 МПа при сжатии, а для состава с 0,5 % Melment F-10 - 11,213,7 МПа и 82,0-86,3 МПа, соответственно. Учитывая эти показатели, рекомендуется применять состав с соотношением 50 % вяжущего и 50 % песка для гидроизоляционных штукатурных смесей.

#### Литература:

1. Pan. W. Degradation mechanisms of polyurethane grouting materials under quasi-static and cyclic compression loading: density and size effects / W. Pan, Y. Han, Z. Wang et al // *Constr. Build Mater.* - 2023. - Vol 408. - 133795. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133795>.
2. Shill. SK. Performance of amine cured epoxy and silica fume modified cement mortar under military airbase operating conditions/ SK Shill, Deen S - Al, M. Ashraf et al// *Constr Build Mater.* 2020. - Vol 232. - 117280. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117280>
3. Repair mortars obtained by plasma modification and vortex activation / V. Ushkov, R. Ibragimov, O. Figovsky, S. Samchenko // *Architecture and Engineering.* – 2022. – Vol. 7, No. 4. – P. 60-69. – <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2022-7-4-60-69> – EDN PJYNOY.
4. Andrew. RM. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production, 1928-2018/ R.M Andrew // *Earth Syst Sci Data.* - 2019.- Vol 11(4). - p. 1675 - 1710. <https://doi.org/10.5281/zenodo.831454>
5. Yuan. Q. Civil engineering materials/ Q. Yuan, ZQ Liu, KR Zheng et al// Changsha: Central South University Press. - 2021.
6. Кривобородов Ю.Р. Специальные цементы: разновидности, свойства и применение // *Техника и технология силикатов.* 2023. Т. 30. № 1. С. 84-91
7. Кузнецова, Т. В. Химия, состав и свойства специальных цементов / Т. В. Кузнецова, Ю. Р. Кривобородов, С. В. Самченко // *Химия и химическая технология на рубеже тысячелетий : материалы научно-практической конференции, Томск, 03–04 октября 2000 года / Томский политехнический университет (ТПУ). Том 1. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2000. – С. 96-98. – EDN TOEXOZ.*
8. Gartner. E. Alternative cement clinkers. / E. Garther, T. Sui // *Cem Concr Res.*- 2018. - Vol.114 -p 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.002>.
9. Самченко, С.В. Влияние дисперсности расширяющегося компонента на свойства цементов / С. В. Самченко, Д. А. Зорин // *Техника и технология силикатов.* – 2006. – Т. 13, № 2. – С. 2-7. – EDN KWMZHD.
10. Samchenko, S. V. Influence of fineness of expansive components on cement properties / S. V. Samchenko, D. A. Zorin // *Cement, Wapno, Beton.* – 2008. – No. 5. – P. 254-257. – EDN RYAPJJ.
11. Кузнецова Т.В. Алюминатные и сульфалоуминатные цементы/. - М.: Стройиздат, 1986. 208 с.
12. Samchenko, S. V. Resistance of the calcium sulphoaluminate phases to carbonation / S. V. Samchenko, T. V. Kouznetsova // *Cement, Wapno, Beton.* – 2014. – Vol. 2014, No. 5. – P. 317-322. – EDN VACITJ.

sults showed that the composition containing 50% binder and 50% sand exhibits higher early-age strength (both in bending and compression) compared to the composition with 40% binder and 60% sand. At one day of curing, this composition provides a flexural strength of 8.3 MPa and a compressive strength of 60.1 MPa. At 28 days, the hardened mortar of the composition with 0.25% Melflux 4930 shows a flexural strength of 15.1-17.5 MPa and a compressive strength of 93.1-100.0 MPa, whereas for the composition with 0.5% Melment F-10, the values are 11.2-13.7 MPa and 82.0-86.3 MPa, respectively. Considering these results, it is recommended to use a composition with a 50% binder and 50% sand ratio for waterproofing plaster mortars.

#### References

1. Pan. W. Degradation mechanisms of polyurethane grouting materials under quasi-static and cyclic compression loading: density and size effects / W. Pan, Y. Han, Z. Wang et al // *Constr Build Mater.* - 2023. - Vol 408. - 133795. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133795>.
2. Shill. SK. Performance of amine cured epoxy and silica fume modified cement mortar under military airbase operating conditions/ SK Shill, Deen S - Al, M. Ashraf et al// *Constr Build Mater.* 2020. - Vol 232. - 117280. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117280>
3. Repair mortars obtained by plasma modification and vortex activation / V. Ushkov, R. Ibragimov, O. Figovsky, S. Samchenko // *Architecture and Engineering.* – 2022. – Vol. 7, No. 4. – P. 60-69. – <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2022-7-4-60-69> – EDN PJYNOY.
4. Andrew. RM. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production, 1928-2018/ R.M Andrew // *Earth Syst Sci Data.* - 2019.- Vol 11(4). - p. 1675 - 1710. <https://doi.org/10.5281/zenodo.831454>
5. Yuan. Q. Civil engineering materials/ Q. Yuan, ZQ Liu, KR Zheng et al// Changsha: Central South University Press. - 2021.
6. Krivoborodov Yu.R. Special cements: varieties, properties and applications // *Engineering and technology of silicates.* 2023.Vol. 30. No1. Pp 84 – 91.
7. Kuznetsova, T. V. Chemistry, composition and properties of special cements / T. V. Kuznetsova, Yu. R. Krivoborodov, S. V. Samchenko // *Chemistry and chemical technology at the turn of the millennium: materials of the scientific and practical conference, Tomsk, October 3–4, 2000 / Tomsk Polytechnic University (TPU). Vol. 1. – Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2000. – P. 96–98. – EDN TOEXOZ.*
8. Gartner. E. Alternative cement clinkers. / E. Garther, T. Sui // *Cem Concr Res.*- 2018. - Vol.114 -p 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.002>.
9. Samchenko, S.V. Influence of dispersion of the expanding component on the properties of cements / S.V. Samchenko, D.A. Zorin // *Engineering and technology of silicates.* - 2006. - Vol. 13, No. 2. - Pp. 2-7. - EDN KWMZHD.
10. Samchenko, S. V. Influence of fineness of expansive components on cement properties / S. V. Samchenko, D. A. Zorin // *Cement, Wapno, Beton.* – 2008. – No. 5. – P. 254-257. – EDN RYAPJJ.
11. Kuznetsova T.V. Aluminate and sulfoaluminate cements/. - М.: Stroyizdat, 1986. 208 p.
12. Samchenko, S. V. Resistance of the calcium sulphoaluminate phases to carbonation / S. V. Samchenko, T. V. Kouznetsova // *Cement, Wapno, Beton.* – 2014. – Vol. 2014, No. 5.

13. Li. G. Improvement of workability and early strength of calcium sulfoaluminate cement at various temperature by chemical admixtures. / G. Li, J. Zhang, Z. Song, C. Shi, A. Zhang// Construct. Build. Mater. - 2018.- Vol 160.- p. 427439. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.076>.
14. Cau Dit Coumes C. Calcium sulfoaluminate cement blended with OPC: a potential binder to encapsulate low-level radioactive slurries of complex chemistry/ C. Cau Dit Coumes, S. Courtois, S. Peysson, J. Ambroise, J. Pera// Cem. Concr. Res. - 2009. - Vol 39 (9). - p. 740 - 747. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.05.016>.
15. Li. H. Utilization of low-quality desulfurized ash from semi-dry flue gas desulfurization by mixing with hemihydrate gypsum/ H. Li, H. Zhang, L. Li, Q. Ren, X. Yang, Z. Jiang, Z. Zhang// Fuel. - 2019. - Vol. 255. - 115783. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115783>.
16. Increasing the Hydration Activity of Tricalcium Silicate by Adding Microdispersed Ettringite as a Nucleating Agent / Yu. R. Krivoborodov, S. V. Samchenko, A. V. Korshunov [et al.] // Materials. - 2023. - Vol. 16, No. 22. - P. 7078. - DOI 10.3390/ma16227078. - EDN TQJBDC.
17. Самченко С.В. Роль этtringита в формировании и генезисе структуры камня специальных цементов/ Самченко С. В.; Федеральное агентство по образованию, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Издательский центр М. 2005. 154 с.
18. Самченко, С. В. Влияние суперпластификатора на морфологию кристаллов этtringита / С. В. Самченко, Е. М. Макаров // Техника и технология силикатов. - 2015. - Т. 22, № 2. - С. 17-21. - EDN UACCCX.
19. Кузнецова, Т.В., Самченко С.В. Микроскопия материалов цементного производства - М.: МИКХиС, 2007. - 304 с.
20. Li. H. Investigation on the potential of waste cooking oil as a grinding aid in Portland cement/ H. Li, J. Zhao, Y. Huang, Z. Jiang, X. Yang, Z. Yang, Q. Chen// J. Environ. Manage. - 2016.- Vol184 (3). - p. 545-551. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.027>
21. Pelletier. F. The ternary system Portland cement calcium sulfoaluminate clinker-anhydrite: hydration mechanism and mortar properties/L. Pelletier, F. Winnefeld, B. Lothenbach // Cem. Concr. Compos. - 2010. - Vol.32 (7). p.497-507. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.03.010>.
22. Pelletier - Chaignat. F. Influence of the calcium sulphate source on the hydration mechanism of Portland cement - calcium sulfoaluminate clinker-calcium sulphate binders/ L. Pelletier-Chaignat, F. Winnefeld, B. Lothenbach, G.L. Saout, C.J. Muller, C. Famy// Cem. Concr. Compos. - 2011.- Vol 35(3). - p.551-561. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.03.005>.
23. Liu. T. Strength enhancement of recycled aggregate pervious concrete using a cement paste redistribution method/ T. Liu, Z. Wang, D. Zou, A. Zhou, J. Du// Cem. Concr. Compos. Res. - 2019. - Vol .122. - p.72-82. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.05.004>.
24. Qin. L. Potential application of Portland cement-calcium sulfoaluminate cement blends to avoid early age frost damage/ L. Qin, X. Gao, A. Zhang/, Construct. Build. Mater. - 2018.- Vol. 190. - p. 363-372. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.136>.
25. Qin. T. Utilization of waste cathode ray tube funnel glass for ultra-high-performance concrete/ T. Liu, H. Wei, D. Zou, A. Zhou, H. Jian// J. Clean, Prod. - 2020.- Vol. 249.119333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119333>.
26. Yang. J. Eco-friendly treatment of low-calcium coal fly ash for high pozzolanic reactivity: a step towards waste utilization in sustainable building material/ J. Yang, J. Huang, Y. Su, X. He, H. Tan, W. Yang, B. Strnadell// J. Clean, Prod. - 2019. - Vol. - P. 317-322. - EDN VACITJ.
13. Li. G. Improvement of workability and early strength of calcium sulfoaluminate cement at various temperature by chemical admixtures. / G. Li, J. Zhang, Z. Song, C. Shi, A. Zhang// Construct. Build. Mater. - 2018.- Vol 160.- p. 427439. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.076>.
14. Cau Dit Coumes C. Calcium sulfoaluminate cement blended with OPC: a potential binder to encapsulate low-level radioactive slurries of complex chemistry/ C. Cau Dit Coumes, S. Courtois, S. Peysson, J. Ambroise, J. Pera// Cem. Concr. Res. - 2009. - Vol 39 (9). - p. 740 - 747. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.05.016>.
15. Li. H. Utilization of low-quality desulfurized ash from semi-dry flue gas desulfurization by mixing with hemihydrate gypsum/ H. Li, H. Zhang, L. Li, Q. Ren, X. Yang, Z. Jiang, Z. Zhang// Fuel. - 2019. - Vol. 255. - 115783. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115783>.
16. Increasing the Hydration Activity of Tricalcium Silicate by Adding Microdispersed Ettringite as a Nucleating Agent / Yu. R. Krivoborodov, S. V. Samchenko, A. V. Korshunov [et al.] // Materials. - 2023. - Vol. 16, No. 22. - P. 7078. - DOI 10.3390/ma16227078. - EDN TQJBDC.
17. Samchenko S.V. The role of ettringite in the formation and genesis of the structure of special cements / Samchenko S.V.; Federal Education Agency, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Publishing Center M. 2005. 154 p.
18. Samchenko, S. V. Influence of superplasticizer on the morphology of ettringite crystals / S. V. Samchenko, E. M. Makarov // Engineering and technology of silicates. - 2015. - Vol. 22, No. 2. - P. 17-21. - EDN UACCCX.
19. Kuznetsova, T.V., Samchenko S.V. Microscopy of materials of cement production - M.: MIKHiS, 2007. - 304 p.
20. Li. H. Investigation on the potential of waste cooking oil as a grinding aid in Portland cement/ H. Li, J. Zhao, Y. Huang, Z. Jiang, X. Yang, Z. Yang, Q. Chen// J. Environ. Manage. - 2016.- Vol184 (3). - p. 545-551. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.027>
21. Pelletier. F. The ternary system Portland cement calcium sulfoaluminate clinker-anhydrite: hydration mechanism and mortar properties/L. Pelletier, F. Winnefeld, B. Lothenbach // Cem. Concr. Compos. - 2010. - Vol.32 (7). p.497-507. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.03.010>.
22. Pelletier - Chaignat. F. Influence of the calcium sulphate source on the hydration mechanism of Portland cement - calcium sulfoaluminate clinker-calcium sulphate binders/ L. Pelletier-Chaignat, F. Winnefeld, B. Lothenbach, G.L. Saout, C.J. Muller, C. Famy// Cem. Concr. Compos. - 2011.- Vol 35(3). - p.551-561. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.03.005>.
23. Liu. T. Strength enhancement of recycled aggregate pervious concrete using a cement paste redistribution method/ T. Liu, Z. Wang, D. Zou, A. Zhou, J. Du// Cem. Concr. Compos. Res. - 2019. - Vol .122. - p.72-82. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.05.004>.
24. Qin. L. Potential application of Portland cement-calcium sulfoaluminate cement blends to avoid early age frost damage/ L. Qin, X. Gao, A. Zhang/, Construct. Build. Mater. - 2018.- Vol. 190. - p. 363-372. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.136>.
25. Qin. T. Utilization of waste cathode ray tube funnel glass for ultra-high-performance concrete/ T. Liu, H. Wei, D. Zou, A. Zhou, H. Jian// J. Clean, Prod. - 2020.- Vol. 249.119333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119333>.
26. Yang. J. Eco-friendly treatment of low-calcium coal fly ash for high pozzolanic reactivity: a step towards waste

238.- 117962. <https://doi.org/10.1016/i-icle-pro.2019.117962>.  
27. Самченко, С. В. Формирование и генезис структуры цементного камня : монография / С. В. Самченко. — М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, – 2016. — 284 с. — ISBN 978-5-7264-1313-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/49874.html>  
28. Макаров, Н.А. Практикум по технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: учеб. пособие / Н. А. Макаров, Е. Н. Потапова, Д. О. Лемешев, А. И. Захаров, И. Н. Тихомирова, А. В. Беляков // Под ред. Н.А. Макарова. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия. - 2025. - 288 с.

utilization in sustainable building material/ J. Yang, J. Huang, Y. Su, X. He, H. Tan, W. Yang, B. Strnadel// J. Clean, Prod. - 2019. - Vol. 238.- 117962. <https://doi.org/10.1016/i-icle-pro.2019.117962>.  
27. Samchenko, S. V. Formation and genesis of the structure of cement stone: monograph / S. V. Samchenko. - M.: Moscow State University of Civil Engineering, IPR Media, EBS ASV, - 2016. - 284 p. - ISBN 978-5-7264-1313-6. - Text: electronic // Electronic library system IPR BOOKS: [site]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/49874.html>  
28. Makarov, N.A. Practical training in the technology of refractory non-metallic and silicate materials: textbook / N. A. Makarov, E. N. Potapova, D. O. Lemeshev, A. I. Zakharov, I. N. Tikhomirova, A. V. Belyakov // Ed. by N.A. Makarov. - Moscow; Vologda: Infra-Engineering. - 2025. - 288 p.

**Мин Хейн Хтет** - аспирант факультета технологии неорганических веществ и высокотемпературных материалов, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва  
*E-mail:* [mmhem29@mail.ru](mailto:mmhem29@mail.ru); (автор для связи)

**Min Hein Htet** - Postgraduate student, studying at the Faculty of Technology of Inorganic Substances and High-temperature Materials, D. I. Mendeleev Russian State Technical University, Russia, Moscow.  
*E-mail:* [minhein29@mail.ru](mailto:minhein29@mail.ru) (author for contact)

**Аунг Чжо Чжо** - магистрант факультета технологии неорганических веществ и высокотемпературных материалов, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва  
*E-mail:* [aungkyawkyaw10102014@mail.ru](mailto:aungkyawkyaw10102014@mail.ru).

**Aung Kyaw Kyaw** - Master's Degree from the Faculty of Technology of Inorganic Substances and High-Temperature Materials, Mendeleev Russian Technical Technical University, Moscow, Russia. *E-mail:* [aungkyawkyaw10102014@mail.ru](mailto:aungkyawkyaw10102014@mail.ru).

**Потапова Екатерина Николаевна** - д.т.н., профессор кафедры химической технологии композиционных и вяжущих материалов, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва. *E-mail:* [potapova.em@muctr.ru](mailto:potapova.em@muctr.ru).

**Ekaterina Nikolaevna Potapova** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Technology of Composite and Binding Materials, D. I. Mendeleev Russian State Technical University, Moscow, Russia.  
*E-mail:* [potapova.e.n@muctr.ru](mailto:potapova.e.n@muctr.ru) .

**Вклад авторов:** *Мин Хейн Хтет* - разработка методик, обработка материала написание статьи; *Аунг Чжо Чжо* - разработка методик, обработка материала написание статьи; *Потапова Е.Н.* - научное руководство, научное редактирование статьи.

**Contribution of the authors:** *Min Hein Htet* - development of methods, processing of material, writing an article; *Aung Kyaw Kyaw* - development of methods, processing of material, writing an article; *Potapova E.N.* - scientific guidance, scientific editing of the article

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*