

УДК 691.3

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 67.09.31

Научная специальность ВАК: 2.1.05 Строительные материалы и изделия

EDN mjupxw

DOI 10.62980/2076-0655-2024-365-376

## ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЙ МОДИФИКАТОР НА ОСНОВЕ ШЛАМОВОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ

Ларсен А.О.<sup>1</sup>, Бахрах А.М.<sup>1</sup>, Машина Т.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

### АННОТАЦИЯ

Производство бетонной смеси неизбежно сопряжено с образованием шламовой воды, которая оказывает воздействие на окружающую среду. Технология рециклинга бетонной смеси позволяет использовать не только шламовую воду от производства товарного бетона, но и получать на основе обезвоженного шлама высокодисперсный органоминеральный модификатор (ОМД), полученный его тонким измельчением в шаровой мельнице. Получен модификатор при помоле в шаровой мельнице в течение 2,5 ч с удельной поверхностью 15657 см<sup>2</sup>/г. Введение сухого поликарбоксилатного пластификатора в количестве 0,025% позволило сократить время помола в мельнице до 1 ч и получить удельную поверхность, равную 16227 см<sup>2</sup>/г. Исследован химический состав органоминерального модификатора и основные свойства цементного теста в присутствии ОМД. Установлено увеличение нормальной плотности цементного теста на 2,4 %, ускорение сроков схватывания и повышение прочности в начальные сроки твердения. Показано, что введение шламовой воды с водой затворения в количестве 5% в бетонную смесь не приводит к снижению прочностных показателей. Введение ОМД на основе шламовой воды в количестве 10% не оказывает негативного влияния на технологические свойства и несущественно повышает прочность бетона в возрасте 28 сут. Полученный модификатор, участвуя в цикле ресурсосбережения и обладая такими важными характеристиками, послужит альтернативой применению другим минеральным добавкам, применяемым при производстве самоуплотняющихся бетонов, сократит расход сырьевых материалов, а подбор его оптимального содержания будет влиять на изменение технологических и прочностных свойств бетонов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** шламовая вода, помол, удельная поверхность, бетонная смесь, самоуплотняющийся бетон, органоминеральный модификатор

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Ларсен А.О., Бахрах А.М., Машина Т.Ю. Органоминеральный модификатор на основе шламовой воды для получения высокопрочных самоуплотняющихся бетонов // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, № 4. – С. 365-376, DOI 10.62980/2076-0655-2024-365-376, EDN mjupxw

Type of article - scientific article

OECD 2.01 Civil engineering

FA CONSTRUCTION & BUILDING TECHNOLOGY

EDN mjupxw

DOI 10.62980/2076-0655-2024-365-376

## ORGANIC-MINERAL MODIFIER BASED ON SLURRY WATER FOR THE PRODUCTION OF HIGH-STRENGTH SELF-COMPACTING CONCRETES

Larsen A.O.<sup>1</sup>, Bahrah A.M.<sup>1</sup>, Mashina T.Y.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Civil Engineering

### ABSTRACT

The production of concrete mix is inevitably associated with the formation of sludge water, which has an impact on the environment. The technology of recycling concrete mix allows you to use not only slurry water from the production of ready-mixed concrete, but also to obtain a highly dispersed organomineral modifier (OMD) based on dehydrated sludge, obtained by fine grinding in a ball mill. A modifier was obtained by grinding in a ball mill for 2.5 hours with a specific surface area of 15657 cm<sup>2</sup>/g. The introduction of a dry polycarboxylate plasticizer in an amount of 0.025% made it possible to reduce the grinding time in the mill to 1 hour and obtain a specific surface area equal to 16227 cm<sup>2</sup>/g. The chemical composition of the organomineral modifier and the basic properties of cement paste in the presence of OMD are investigated. An increase in the normal density of the cement paste by 2.4%, an acceleration of the setting time and an increase in strength in the initial hardening periods were found. It is shown that the introduction of slurry water with mixing water in an amount of 5% into the concrete mixture does not lead to a decrease in strength parameters. The introduction of OMD based on slurry water in an amount of 10% does not adversely affect the technological properties and slightly increases the strength of concrete at the age of 28 days. The resulting modifier, participating in the resource-saving cycle and possessing such important characteristics, will serve as an alternative to the use of other mineral additives used in the production of self-sealing concretes, will reduce the consumption of raw materials, and the selection of its optimal content will affect changes in the technological and strength properties of concretes.

**KEYWORDS:** slurry water, grinding, specific surface area, concrete mix, self-sealing concrete, jrganic-mineral modifier

**FOR CITATION:** Larsen A.O., Bahrah A.M., Mashina T.Y. Organic-mineral modifier based on slurry water for obtaining high-strength self-compacting concretes // Technique and Technology of silicates. – 2024. - Vol. 31, No. 4. - pp. 365-376, DOI 10.62980/2076-0655-2024-365-376, EDN mjupxw

## ВВЕДЕНИЕ

Решение проблемы ресурсосбережения и охраны окружающей среды при производстве строительных материалов требует применения различных отходов производства как в качестве добавок, так и в виде самостоятельных компонентов.

Согласно аналитическим данным [2] объем отходов на строительный сектор составляет от 8 до 10 % от общего количества отходов всех производств в Российской Федерации. Что наводит на мысль о необходимости нахождения решения о реализации повторного использования отходов.

Широкое применение нашли материалы на основе отходов переработки промышленности, обладающие необходимыми характеристиками для получения высококачественных материалов [3,4].

В строительном секторе большая часть сточных вод образуется при производстве товарного бетона. После промывки бетоносмесителей водой образуются сточные воды в виде шламовой воды. Шламовая вода оказывает воздействие на окружающую среду. В странах Европы шламовая вода достаточно часто применяется на бетонных заводах [5]. В последние годы было проведено много исследований по данной тематике [6-13]. Результаты исследования дают возможность судить о влиянии цементных суспензий, полученных после рециклинга, на технологические и механические характеристики новых смесей.

Отмечается [8], что шламовая вода незначительно изменяет прочность на сжатие, но сокращает время схватывания. В других работах отмечается, что добавки предварительно гидратированной цементной суспензии оказывают влияние на гидратацию цемента, а также свойства цементной пасты и камня [9-12]. С увеличением количества такой добавки вызывает увеличение нормальной густоты, сокращение сроков схватывания и снижение прочности.

В некоторых исследованиях отмечается, что количество введенной шламовой воды что для приготовления раствора и бетона может достигать 50%. При этом происходит сокращение сроков схватывания на 15 минут, а его механические свойства повышались [13].

Рациональный цикл производства бетонной смеси позволяет применять технологию рециклинга бетонной смеси, заключающуюся в использовании шламовой воды от производства товарного бетона. Процесс рециклинга предоставляет собой возможность получения переработанного сырья, которое можно использовать при производстве высокопрочных бетонов в качестве органоминеральной добавки. При производстве бетонов возможно применять вторичные перерабатываемые материалы, требования к которым изложены в ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования». В этом стандарте затрагивается понятие об рециклированном бетоне, называемом как «бетон, изготовленный с применением утилизированных вяжущих, заполнителей и воды».

Для производства, доставки и перекачки бетонной смеси применяется оборудование, которое нуждается в промывке. Образующаяся после промывки шламовая вода включает в себя не только воду, но и ценные сырьевые материалы, задействованные в приготовлении бетонной смеси. На большинстве бетонных заводов

## INTRODUCTION

Solving the problem of resource conservation and environmental protection in the production of building materials requires the use of various industrial wastes both as additives and as independent components [1].

According to analytical data [2], the volume of waste in the construction sector is from 8 to 10% of the total amount of waste from all industries in the Russian Federation. Which suggests the need to find a solution to implement the reuse of waste.

Materials based on industrial recycling waste with the necessary characteristics for obtaining high-quality materials have found wide application [3,4].

In the construction sector, most of the wastewater is generated during the production of ready-mixed concrete. After washing the concrete mixers with water, wastewater is formed in the form of slurry water. Sludge water has an impact on the environment. In European countries, slurry water is often used in concrete plants [5]. In recent years, many studies have been conducted on this topic [6-13]. The results of the study make it possible to judge the influence of cement suspensions obtained after recycling on technological and mechanical characteristics of new mixtures

It is noted [8] that slurry water slightly changes the compressive strength, but reduces the setting time. In other works, it is noted that the addition of pre-hydrated cement slurry has an effect on cement hydration, as well as on the properties of cement paste and stone [9-12]. As the amount of such additive increases, it causes an increase in normal density, shortening of setting time and a decrease in strength.

In some studies, it is noted that the amount of introduced slurry water for the preparation of mortar and concrete can reach 50%. At the same time, the setting time is reduced by 15 minutes, and its mechanical properties are increased [13].

The rational cycle of concrete mix production allows the use of concrete mix recycling technology, which consists in the use of slurry water from the production of ready-mixed concrete. The recycling process provides an opportunity to obtain recycled raw materials that can be used in the production of high-strength concrete as an organomineral additive. In the production of concrete, it is possible to use recyclable materials, the requirements for which are set out in GOST 25192-2012 "Concretes. Classification and general technical requirements". This standard addresses the concept of recycled concrete, referred to as "concrete made using recycled binders, aggregates and water."

Equipment that needs to be flushed is used for the production, delivery and pumping of concrete mix. The sludge water formed after washing includes not only water, but also valuable raw materials involved in the preparation of the concrete mixture. In most concrete plants, slurry water is not used in the future and ends up in landfills, where it accumulates and gradually settles, polluting the environment. Therefore, the secondary use of slurry water as a component for the preparation of a concrete mixture, but requiring preliminary cleaning and preparation, is promising.

The technology of processing the mixture obtained after washing the equipment, or its recycling, consists in separating the mixture into crushed stone, gravel, sand and slurry

шламовая вода в дальнейшем не используется и попадает в отвалы, где она накапливается и постепенно схватывается, загрязняя собой окружающую среду. Поэтому перспективным является вторичное использование шламовой воды в качестве компонента для приготовления бетонной смеси, но требующей предварительной очистки и подготовки.

Технология переработки смеси, полученной после промывки оборудования, или ее рециклинг, заключается в разделении смеси на щебень, гравий, песок и шламовую воду [14,15]. Заполнитель после прохождения очистки возвращается в производственный цикл, а шламовая вода может добавляться в состав бетонных смесей в незначительных количествах, что объясняется непостоянством химического состава, присутствием остатков органических пластифицирующих, воздухоовлекающих и замедляющих добавок, введенных при приготовлении смеси.

При внедрении системы очистки шламовой воды, количество отходов, образующихся в фильтр-прессе, может составить приблизительно 0,8 масс. % от общего объема производимого бетона [16].

Перспективно применение тонкодисперсного органоминерального модификатора в составе высокопрочных бетонных смесей. Применение органоминерального модификатора позволит сократить расход сырьевых материалов, а подбор его оптимального содержания будет влиять на изменение технологических и прочностных свойств бетонов.

Состав тонкодисперсного органоминерального модификатора на основе шламовой воды может быть представлен частицами негидратированного и гидратированного минерального вяжущего, пылевидными фракциями заполнителей и остатками химических добавок. Для повышения степени измельчения высушенного шлама в мельнице предполагается помол осуществлять совместно с органическим пластификатором на основе эфиров поликарбоксилатов.

Присутствие поликарбоксилатного пластификатора будет выполнять не только роль интенсификатора помола, но и редиспергирующую функцию, обеспечивая тем самым, присутствие тонких фракций в получаемом продукте. В тоже время, гидратированные частицы минерального вяжущего, входящие в состав модификатора, могут выступать в качестве ускорителя твердения бетонной смеси для обеспечения высоких прочностных показателей в начальные сроки твердения.

**Целью данной работы** является изучение влияния времени измельчения на изменение дисперсности органоминерального модификатора, исследование основных свойств цементного теста в присутствии органоминерального модификатора, его химического и фазового состава.

#### **Материалы и методы исследования**

В работе применялись следующие материалы:

- портландцемент ЦЕМ I 52,5 Н «Хайдельбергцемент Рус» в соответствии с ГОСТ 31108-2020 с удельной поверхностью 3970 см<sup>2</sup>/г, нормальной плотностью 29,6%, сроками схватывания: началом схватывания – 205 мин; концом схватывания – 245 мин, активностью в возрасте 28 сут – 58,4 МПа. Химико-минералогический состав цемента представлен в таблице 1.

water [14,15]. The filler returns to the production cycle after purification, and slurry water can be added to the composition of concrete mixtures in small quantities, which is explained by the variability of the chemical composition, the presence of residues of organic plasticizing, air-entrapping and retarding additives introduced during the preparation of the mixture.

With the introduction of a sludge water treatment system, the amount of waste generated in the filter press can be approximately 0.8 wt.% of the total volume of concrete produced [16].

The use of a finely dispersed organomineral modifier in the composition of high-strength concrete mixtures is promising. The use of an organomineral modifier will reduce the consumption of raw materials, and the selection of its optimal content will affect the change in the technological and strength properties of concrete.

The composition of a finely dispersed organomineral modifier based on slurry water can be represented by particles of non-hydrated and hydrated mineral binder, pulverized fractions of fillers and residues of chemical additives. To increase the degree of grinding of the dried sludge in the mill, it is proposed to grind together with an organic plasticizer based on polycarboxylate esters. The presence of a polycarboxylate plasticizer will perform not only the role of a grinding intensifier, but also a redispersatory function, thereby ensuring the presence of fine fractions in the resulting product. At the same time, hydrated particles of mineral binder, which are part of the modifier, can act as an accelerator for the hardening of the concrete mixture to ensure high strength performance in the initial hardening period.

**The purpose of this work** is to study the effect of grinding time on the change in the dispersion of an organomineral modifier, to study the basic properties of cement dough in the presence of an organomineral modifier, its chemical and phase composition.

#### **Materials and methods of research**

The following materials were used in the work:

- Portland cement CEM I 52.5 N "Heidelbergcement Rus" in accordance with GOST 31108-2020 with a specific surface area of 3970 cm<sup>2</sup> / g, normal density of 29.6%, setting time: the beginning of setting – 205 min; the end of setting – 245 min, activity at the age of 28 days – 58.4 MPa. The chemical and mineralogical composition of cement is presented in Table 1.

**ТАБЛИЦА 1. ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА**  
**Table 1: Chemical and mineralogical composition of Portland cement**

Содержание, % Contents, %								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
21,65	5,05	3,67	66,37	1,32	64	14	7	11

- порошкообразный суперпластификатор Sika ViscoCrete-226 P на основе эфиров поликарбоксилатов;
- суперпластифицирующая водная дисперсия эфиров поликарбоксилатов Sika ViscoCrete E55;
- зола-уноса Черепетской ГРЭС марки ЗУ КУК-1 в соответствии с ГОСТ 25818 с остатком на сите № 008 - 18,9%; содержанием CaO - 2,67%; содержанием MgO - 1,52%;
- гранитный щебень фракции 5-10 мм, третьего класса по содержанию зерен лещадной формы (20%) согласно ГОСТ 8267 [36], насыпной плотности 1320 кг/м<sup>3</sup>, истинной плотности 2700 кг/м<sup>3</sup>. Гранулометрический состав щебня представлен на рис. 1.
- кварцевый песок с модулем крупности МК=2,56. Гранулометрическая кривая рассева песка представлена на рис. 2.
- обезвоженный шлам, химический анализ которого представлен в таблице 2.

- powdered superplasticizer Sika ViscoCrete-226 P based on polycarboxylate esters;
- superplasticizing aqueous dispersion of polycarboxylate esters Sika ViscoCrete E55;
- fly ash of the Cherepetskaya GRES Marquise AS-1 in accordance with GOST 25818 with a residue on the sieve No. 008 - 18.9%; CaO content - 2.67%; MgO - 1.52%;
- granite crushed stone of 5-10 mm fraction, of the third class in terms of the content of bream-shaped grains (20%) according to GOST 8267 [36], bulk density of 1320 kg/m<sup>3</sup>, true density of 2700 kg/m<sup>3</sup>. The granulometric composition of crushed stone is shown in Fig. 1.
- quartz sand with grain size modulus MK=2.56. Granulometric curve of sand sieving is presented in Fig. 2.
- dehydrated sludge, the chemical analysis of which is presented in Table 2.

Обезвоживание шлама производилось в лабораторном сушильном шкафу при температуре  $t = 100^{\circ}\text{C}$  до постоянной массы навески. Помол материала осуществлялся в лабораторной шаровой мельнице. Химический анализ шлама производили по методике, изложенной в ГОСТ 5382-2019 «Цементы и материалы для цементного производства. Методы химического анализа». Удельная поверхность органоминерального модификатора определялась на приборе ПСХ.

Sludge dewatering was carried out in a laboratory drying cabinet at a temperature of  $t = 100^{\circ}\text{C}$  to a constant weight of the sample. The grinding of the material was carried out in a laboratory ball mill. The chemical analysis of the sludge was carried out according to the methodology set out in GOST 5382-2019 "Cements and materials for cement production. Methods of chemical analysis". The specific surface area of the organomineral modifier was determined on a PSC device.

Определялись механические характеристики испытанием на сжатие бетонных образцов размерами 10×10×10 см, изготовленных с применением шламовой воды от производства товарного бетона. За прочность принимался средний показатель из двух испытаний.

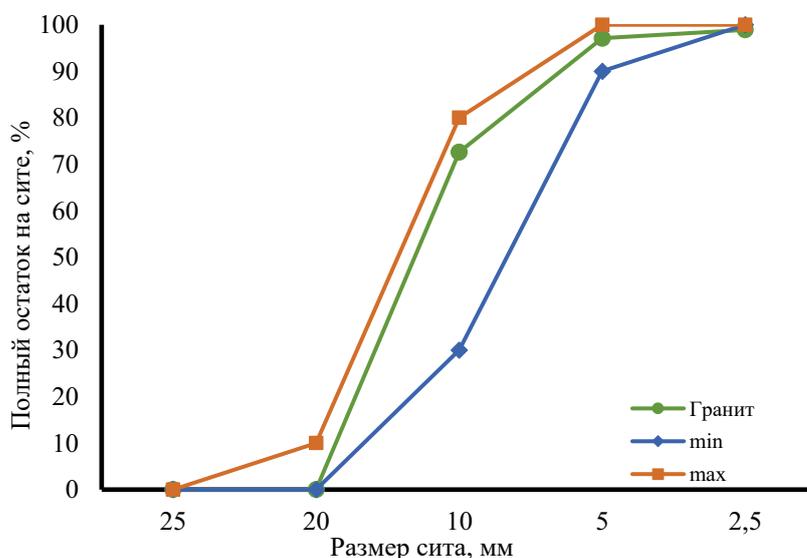
The mechanical characteristics were determined by compression testing of concrete samples with dimensions of 10×10×10 cm, made using slurry water from the production of ready-mixed concrete. The average of the two tests was taken as strength.

**РИСУНОК 1**

**ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКАЯ КРИВАЯ РАССЕВА ГРАНИТНОГО ЩЕБНЯ ФРАКЦИИ 5-10 ММ**

**Figure 1**

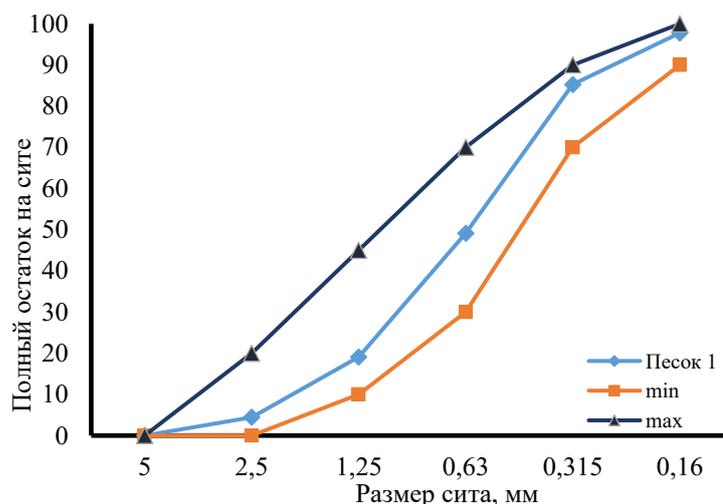
**Granulometric curve of sieving granite crushed stone of 5-10 mm fraction**



## РИСУНОК 2

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКАЯ КРИВАЯ  
РАССЕВА ПЕСКА С  $M_k=2,56$ .

Figure 2

Granulometric curve of sand sieving with  
Fine module of 2.56.Таблица 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЫСУШЕННОГО ШЛАМА  
Table 2. Chemical composition of dried sludge

Химический состав, % Chemical composition, %										
CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
42,82	28,06	4,43	2,55	2,52	1,71	0,47	0,23	0,25	0,07	11

Механические характеристики цементного теста на сжатие определялись испытанием образцов размерами 20×20×20 мм, изготовленных из цементного теста с водоцементным соотношением (В/Ц) = 0,35 с содержанием органоминерального модификатора 5, 10, 15 и 20% от массы вяжущего.

Исследовались прочностные характеристики цементно-песчаного раствора с применением органоминерального модификатора, изготовленных по ГОСТ 30744-2001.

**Эксперименты и обсуждение результатов**

Получение органоминерального модификатора осуществлялось помолом в лабораторной мельнице. При этом помол проводился в присутствии 0,025% органического поликарбоксилатного пластификатора, выступающего интенсификатором помола, и без него. Каждые 30 минут из мельницы отбиралась проба для определения удельной поверхности исследуемого материала. График зависимости удельной поверхности от времени помола представлен на рисунке 3 и 4.

Было установлено, что оптимальное время помола, при котором значение удельной поверхности шлама достигло максимального значения составляет 2,5 ч. Дальнейшее увеличение времени помола приводит к уменьшению удельной поверхности, что можно объяснить флокуляцией частиц модификатора, при котором отдельные частицы шлама образуют рыхлые хлопьевидные скопления. Установлено, что введение сухого поликарбоксилатного пластификатора сокращает время помола на 1,5 ч для получения высокой дисперсности, соответствующей величине 16227 см<sup>2</sup>/г. исследования было определено оптимальное время помола – 1 час. За это время было достигнуто максимальное значение удельной поверхности получаемого тонкодисперсного органоминерального модификатора.

The mechanical characteristics of the cement compression test were determined by testing samples with dimensions of 20×20×20 mm made of cement dough with a water-cement ratio (W/C) = 0.35 with an organomineral modifier content of 5, 10, 15 and 20% of the binder weight.

The strength characteristics of cement-sand mortar with the use of an organomineral modifier manufactured according to GOST 30744-2001 were studied.

**Experiments and discussion of the results**

The preparation of the organomineral modifier was carried out by grinding in a laboratory mill. At the same time, the grinding was carried out in the presence of 0.025% organic polycarboxylate plasticizer acting as a grinding intensifier, and without it. A sample was taken from the mill every 30 minutes to determine the specific surface area of the test material. The graph of the dependence of the specific surface area on the grinding time is shown in Figures 3 and 4.

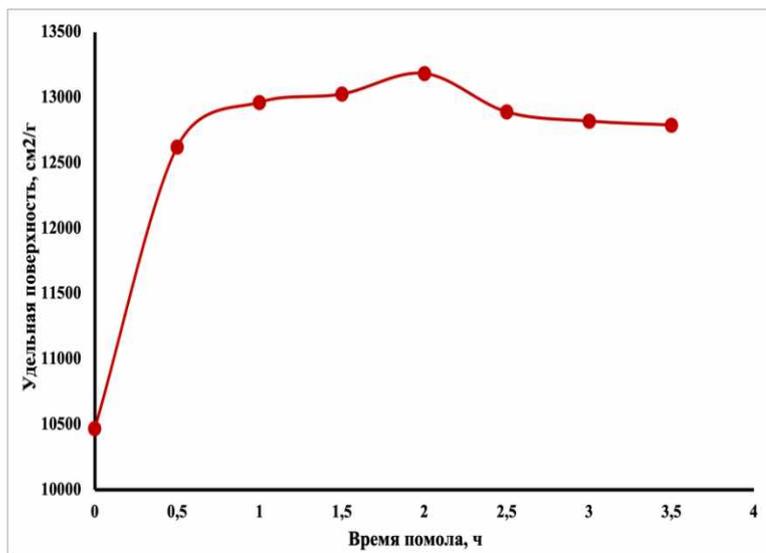
It was found that the optimal grinding time at which the value of the specific surface of the sludge reached its maximum value is 2.5 hours. A further increase in the grinding time leads to a decrease in the specific surface, which can be explained by flocculation of modifier particles, in which individual sludge particles form loose floccular clusters. It was found that the introduction of a dry polycarboxylate plasticizer reduces the grinding time by 1.5 hours to obtain a high dispersion corresponding to the value of 16227 cm<sup>2</sup>/g. The optimal grinding time was determined – 1 hour. During this time, the maximum value of the specific surface area of the resulting finely dispersed organomineral modifier was achieved.

**РИСУНОК 3**

**ИЗМЕНЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗМЕЛЬЧАЕМОГО ШЛАМА ВО ВРЕМЕНИ**

**Figure 3**

Change in the specific surface area of the crushed sludge in time

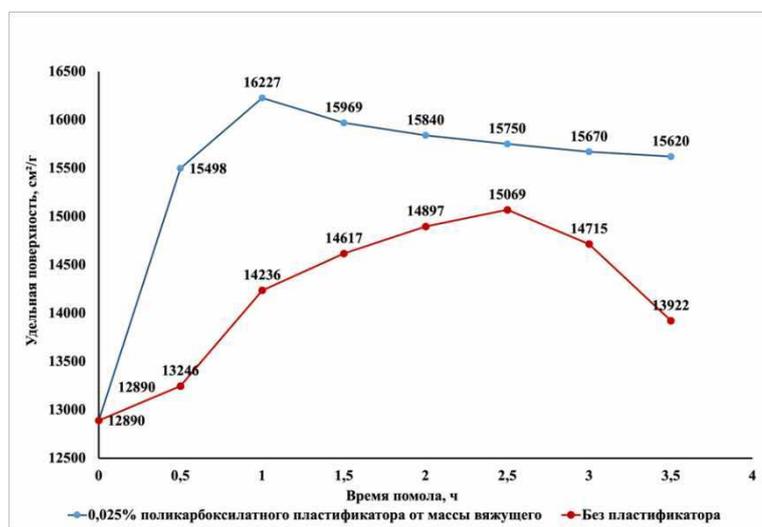


**РИСУНОК 4**

**ИЗМЕНЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛАМА ВО ВРЕМЕНИ В ПРИСУТСТВИИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА**

**Figure 4**

Change in the specific surface of the sludge over time in the presence of a superplasticizer



Исследовалась нормальная густота цементного теста с содержанием тонкодисперсной органоминеральной добавки в количестве 10% от массы цемента. Установлено увеличение нормальной густоты, данные испытаний которой представлены в таблице 3. Увеличение нормальной густоты объясняется высокой дисперсностью добавки, что, соответственно, ведет к повышению водопотребности смеси.

Исследование сроков схватывания цементного теста показало, что введение тонкодисперсного органоминерального модификатора (ОМД) ускоряет начало схватывания по сравнению с контрольным составом (табл. 3).

Исследовалось структурообразование цементного теста ЦЕМ I 52,5 Н «Хайделбергцемент Рус» с применением органоминерального модификатора с использованием прибора Пульсар-2.1 (рис. 5). Прибор предназначен для измерения скорости распространения ультразвуковых импульсов в твердых материалах при сквозном прозвучивании.

The normal density of cement paste with the content of a fine organomineral additive in the amount of 10% by weight of cement was studied. An increase in the normal density was found, the test data of which are presented in Table 3. The increase in the normal density is explained by the high dispersion of the additive, which, accordingly, leads to an increase in the water demand of the mixture. A study of the setting time of the cement dough showed that the introduction of a finely dispersed organomineral modifier (OMD) accelerates the onset of setting compared with the control composition (Table 3).

The structure formation of cement dough CEM I 52.5 N "Heidelbergcement Rus" was studied using an organomineral modifier using the Pulsar-2.1 device (Fig. 5). The device is designed to measure the propagation velocity of ultrasonic pulses in solid materials with through sounding.

ТАБЛИЦА 3. СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ОМД  
Table 3: Properties of Portland cement using fine OMD

Свойство Property	ЦЕМ П/В-Ш 42,5Н	ЦЕМ П/В-Ш 42,5Н с 10% ОМД
Нормальная густота, %	31,6	34
Начало схватывания, мин	225	190
Конец схватывания, мин	260	260

Участок с постоянной скоростью прохождения ультразвука через систему характеризуется тем, что продукты гидратации заполняют межзерновое пространство, за счет чего формируется коагуляционная структура в виде рыхлого каркаса. В точке, где идет резкое повышение скорости ультразвука, начинается фазовый переход, характеризующий процесс раннего структурообразования. На данном этапе происходит упрочнение структуры, повышение тепловыделения и концентрации продуктов гидратации. Это происходит за счет роста новообразований и процесса кристаллизации внутри первоначально сложившегося каркаса с последующим твердением и последующей кристаллизацией структуры. Установлено, что введение ОМД значительно ускоряет период формирования структуры. Максимальное снижение времени структурообразования наблюдается при введении 20% добавки с уменьшением периода формирования структуры с 210 до 160 мин.

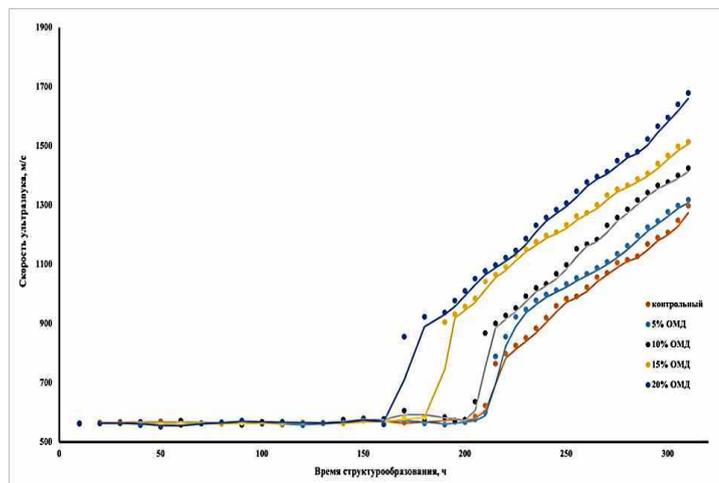
A section with a constant velocity of ultrasound passing through the system is characterized by the fact that hydration products fill the intergranular space, due to which a coagulation structure is formed in the form of a loose framework. At the point where there is a sharp increase in the ultrasound velocity, a phase transition begins, characterized by the process of early structure formation. At this stage, the structure is strengthened, heat generation and concentration of hydration products are increased. This is due to the growth of neoplasms and the crystallization process inside the initially formed framework, followed by hardening and subsequent crystallization of the structure. It was found that the introduction of OMD significantly accelerates the period of formation of the structure. The maximum reduction in structure formation time is observed with the introduction of a 20% additive with a decrease in the period of structure formation from 210 to 160 minutes.

РИСУНОК 5

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА С СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ

Figure 5

Study of the structure formation of cement paste containing an organic-mineral additive



Исследовалось влияние шламовой воды на прочность бетона при ее содержании в количестве 5, 10, 15, 20% в составе бетона (рис.6). Установлено, что ее введение снижает прочность бетона. Это обусловлено повышением водоцементного отношения.

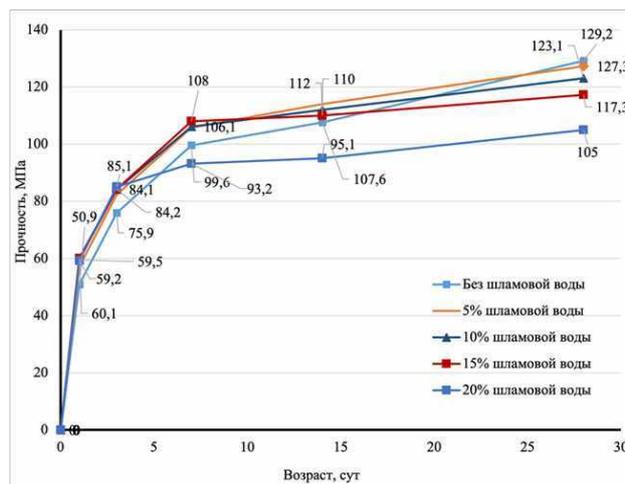
The effect of slurry water on the strength of concrete was studied at its content in the amount of 5, 10, 15, 20% in the composition of concrete (Fig.6). It was found that its introduction reduces the strength of concrete. This is due to an increase in the water-cement ratio.

РИСУНОК 6

КИНЕТИКА НАБОРА ПРОЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШЛАМОВОЙ ВОДЫ

Figure 6

Kinetics of strength gain of high-strength concrete samples using slurry water



Исследовалось влияние ОМД на прочность цементного камня и раствора. Количество добавки в портландцементе составило 5, 10, 15 и 20%. На рис. 7 представлены результаты испытаний на сжатие цементного теста в возрасте 1, 3, 7, 14 и 28 сут. Анализ данных показал, что в возрасте 1 сут наибольшее влияние на увеличение прочности оказывает содержание добавки в количестве 10% с 28,1 до 34,1 МПа. В возрасте 3 и 7 сут максимальное увеличение прочности происходит при введении 5%. В возрасте 28 сут происходит максимальное снижение прочности при введении 20% добавки. Однако наименьшее влияние на уменьшение прочности в возрасте 28 сут оказывает содержание добавки в количестве 5 и 10% с 83,2 до 79,8 и 78,8 МПа. Влияние модификатора на показатели прочности цементно-песчаного раствора состава 1:3, подверженного пропариванию в камере ТВО (рис. 8), введенного в количестве 10 и 20% от массы цемента, показало, содержание добавки в количестве 10% не оказывает влияние на прочностные свойства. При введении 20% происходит снижение прочности на 20% с 42,2 до 35,1 МПа.

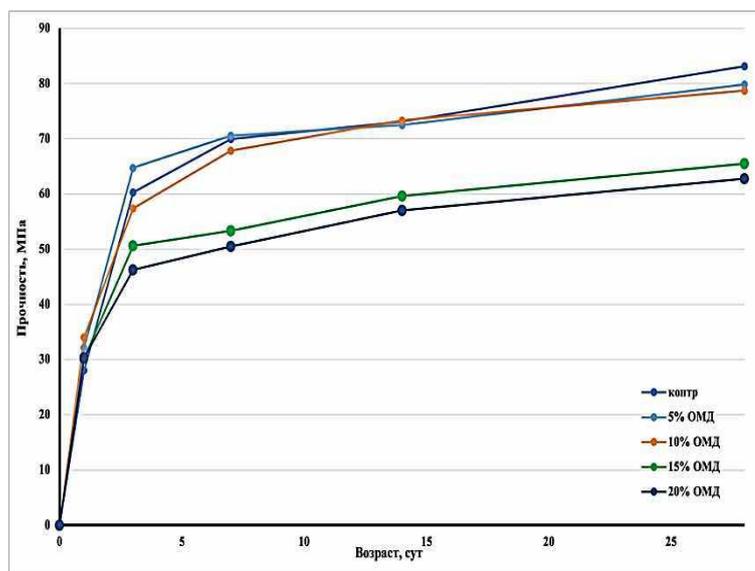
The effect of OMD on the strength of cement stone and mortar was studied. The amount of additive in Portland cement was 5, 10, 15 and 20%. Figure 7 shows the results of compression tests of cement paste at the ages of 1, 3, 7, 14 and 28 days. The analysis of the data showed that at the age of 1 day, the content of the additive in the amount of 10% from 28.1 to 34.1 MPa has the greatest effect on the increase in strength. At the age of 3 and 7 days, the maximum increase in strength occurs with the introduction of 5%. At the age of 28 days, the maximum decrease in strength occurs with the introduction of 20% of the additive. However, the least effect on the decrease in strength at the age of 28 days is exerted by the content of the additive in the amount of 5 and 10% from 83.2 to 79.8 and 78.8 MPa. The effect of the modifier on the strength of a 1:3 cement-sand solution subjected to steaming in the TVO chamber (Fig. 8), introduced in an amount of 10 and 20% by weight of cement, showed that the content of the additive in an amount of 10% does not affect the strength properties. With the introduction of 20%, the strength decreases by 20% from 42.2 to 35.1 MPa.

### РИСУНОК 7

#### КИНЕТИКА НАБОРА ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО МОДИФИКАТОРА

Figure 7

Kinetics of the strength set of cement stone with the content of an organic-mineral modifier

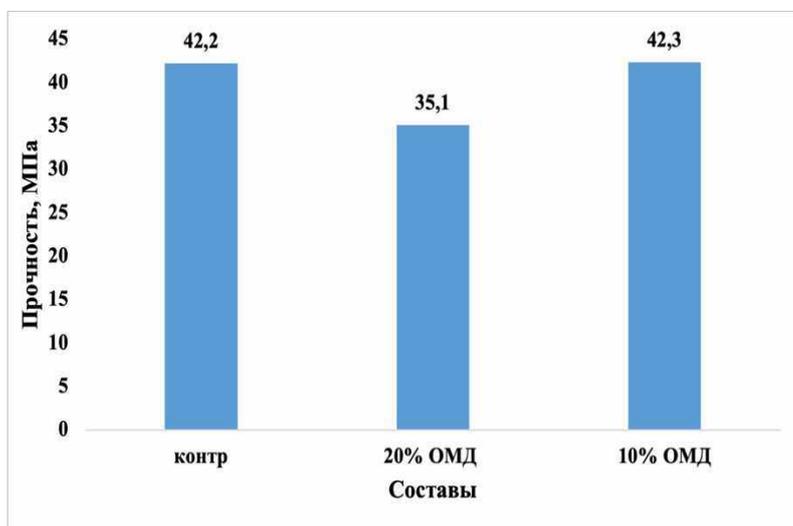


### РИСУНОК 8

#### ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ОМД

Figure 8

Study of the strength properties of cement-sand mortars using a fine organomineral modifier



Исследовалось влияние ОМД на технологические и прочностные показатели высокопрочного самоуплотняющегося бетона, содержащего в качестве микронаполнителя золу-унос. Содержание золы-уноса в контрольном составе было выбрано, равным 100 кг/м<sup>3</sup> и 60 кг/м<sup>3</sup> в составе, содержащем ОМД, для выполнения условий самоуплотнения бетонной смеси. Составы бетонных смесей представлены в табл. 4.

Установлено, что исследованные составы соответствовали требованиям ГОСТ «», имели необходимую сохраняемость в пределах 120 мин и среднюю плотность бетонной смеси, равную 2494 и 2469 кг/м<sup>3</sup>, что свидетельствует о положительном влиянии микронаполнителя и химических добавок и возможности транспортирования смесей на строительную площадку без изменения подвижности.

Результаты испытаний образцов-кубов 100×100×100 мм в возрасте 1, 3, 7, 14 и 28 сут показали, что введение тонкодисперсного модификатора в количестве 10% повышает прочностные свойства бетона (рис 9). Наибольшее увеличение прочности с 90 до 95,2 МПа наблюдается в возрасте 28 сут, что на 6% превосходит значения контрольного состава.

The effect of OMD on the technological and strength parameters of high-strength self-sealing concrete containing fly ash as a microfiller was studied. The fly ash content in the control composition was chosen to be equal to 100 kg/m<sup>3</sup> and 60 kg/m<sup>3</sup> in the composition containing OMD to meet the conditions of self-sealing of the concrete mixture. The compositions of concrete mixtures are presented in Table 4.

It was found that the studied compositions met the requirements of GOST "", had the necessary persistence within 120 minutes and an average density of the concrete mixture equal to 2494 and 2469 kg/m<sup>3</sup>, which indicates the positive effect of the micro-filler and chemical additives and the possibility of transporting the mixtures to the construction site without changing mobility.

The test results of 100×100×100 mm cube samples aged 1, 3, 7, 14 and 28 days showed that the introduction of a fine modifier in an amount of 10% increases the strength properties of concrete (Fig. 9). The greatest increase in strength from 90 to 95.2 MPa is observed at the age of 28 days, which is 6% higher than the values of the control composition.

**ТАБЛИЦА 4 СОСТАВЫ ВЫСОКОПРОЧНОГО САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА**  
**Table 4 Compositions of high-strength self-compacting concrete**

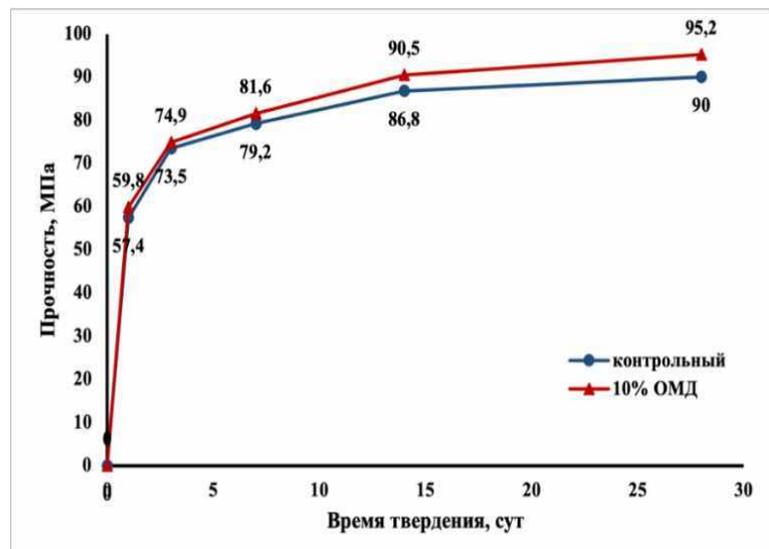
Компоненты Components	Содержание компонентов, кг/ м <sup>3</sup> Content of components, kg/m <sup>3</sup>	
Цемент, кг	500	500
Зола-уноса, кг	100	40
Органоминеральный модификатор, кг	-	60
Песок кварцевый, кг	800	800
Щебень гранитный, кг	980	980
Вода, л	110	105
Пластификатор Sika E55, кг	6	6

**РИСУНОК 9**

**ВЛИЯНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНОГО МОДИФИКАТОРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА**

**Figure 9**

**Investigation of the effect of a fine modifier on the strength characteristics of self-compacting concrete**



### Заклучение

1. Обоснована возможность получения органоминерального модификатора, подвергнутого обезвоживанию шламовой воды, образованной от производства товарного бетона, и его тонкому измельчению в шаровой мельнице, выступающего в качестве компонента для приготовления бетонной смеси.
2. Установлено, что для достижения высокой дисперсности органоминерального модификатора, соответствующее значению 15657 см<sup>2</sup>/г, необходимо его подвергать помолу в шаровой мельнице в течение 2,5 ч. Совместный помол в присутствии поликарбоксилатного суперпластификатора позволяет сократить время помола до 1 ч и получить значение удельной поверхности, равное 16227 см<sup>2</sup>/г.
3. Установлено, что введение тонкодисперсной органоминеральной добавки приводит к незначительному увеличению нормальной густоты цементного теста на 2,4 %.
4. Установлено влияние органоминерального модификатора на увеличение водопотребности цементного теста. Введение 5, 10, 15 и 20% ОМД от массы цемента незначительно повышает водопотребность на 1,1; 1,6; 3,2 и 3,7% соответственно.
5. Показано, что введение органоминерального модификатора в цементное тесто ускоряет его схватывание. Введение 5, 10, 15 и 20% ОМД от массы цемента уменьшает начало схватывания на 25, 35, 35, 55 мин соответственно.
6. Установлено, что введение 5% шламовой воды при затворении бетонной смеси не снижает прочность бетона в возрасте 28 сут твердения.
7. Показано, что введение органоминерального модификатора в состав цементного теста приводит к ускоренному набору прочности в начальные сроки твердения. При содержании добавки в количестве 5, 10, 15 и 20 % в составе цементного камня его прочность в возрасте 1 сут повышается с 28,1 до 32,2; 34,1; 30,2 и 30,3 МПа соответственно.
8. Установлено, что введение ОМД приводит к увеличению прочности самоуплотняющегося бетона в возрасте 28 сут с 90 до 95,2 МПа, что на 6% превосходит значения контрольного состава.

### Литература:

1. Larsen, O.A.; Samchenko, S.V.; Zemskova, O.V.; Korshunov, A.V.; Solodov, A.A. Self-Compacting Mixtures of Fair-Faced Concrete Based on GGBFS and a Multicomponent Chemical Admixture—Technological and Rheological Properties. *Buildings* 2024, 14, 3545. <https://doi.org/10.3390/buildings14113545>
2. Остроух А.В., Суркова Н.Е. Система рециклинга товарного бетона / А.В. Остроух, Н.Е. Суркова // Лучшая научная статья 2017: сборник статей XII Международного научно-

### Conclusions

1. The possibility of obtaining an organomineral modifier subjected to dehydration of slurry water formed from the production of ready-mixed concrete and its fine grinding in a ball mill, acting as a component for the preparation of a concrete mixture, is substantiated.
2. It was found that in order to achieve a high dispersion of the organomineral modifier, corresponding to the value of 15657 cm<sup>2</sup>/g, it is necessary to grind it in a ball mill for 2.5 hours. Joint grinding in the presence of a polycarboxylate superplasticizer reduces the grinding time to 1 hour and obtains a specific surface value equal to 16227 cm<sup>2</sup>/g.
3. It was found that the introduction of a finely dispersed organomineral additive leads to a slight increase in the normal density of the cement paste by 2.4%.
4. The effect of an organomineral modifier on an increase in the water demand of cement paste has been established. The introduction of 5, 10, 15 and 20% OMD by weight of cement slightly increases water demand by 1.1; 1.6; 3.2 and 3.7%, respectively.
5. It is shown that the introduction of an organomineral modifier into the cement dough accelerates its setting. The introduction of 5, 10, 15 and 20% OMD by weight of cement reduces the onset of setting by 25, 35, 35, 55 minutes, respectively.
6. It was found that the introduction of 5% slurry water during the mixing of the concrete mixture does not reduce the strength of concrete at the age of 28 days of hardening.
7. It is shown that the introduction of an organomineral modifier into the composition of cement dough leads to an accelerated strength gain in the initial hardening periods. With an additive content of 5, 10, 15 and 20% in the composition of cement stone, its strength at the age of 1 day increases from 28.1 to 32.2; 34.1; 30.2 and 30.3 MPa, respectively.
8. It was found that the introduction of OMD leads to an increase in the strength of self-sealing concrete at the age of 28 days from 90 to 95.2 MPa, which is 6% higher than the values of the control composition.

### References:

1. Larsen, O.A.; Samchenko, S.V.; Zemskova, O.V.; Korshunov, A.V.; Solodov, A.A. Self-Compacting Mixtures of Fair-Faced Concrete Based on GGBFS and a Multicomponent Chemical Admixture—Technological and Rheological Properties. *Buildings* 2024, 14, 3545. <https://doi.org/10.3390/buildings14113545>
2. Ostrouh A.V., Surkova N.E. Sistema reciklinga tovarnogo betona / A.V. Ostrouh, N.E. Surkova // Luchshaya nauchnaya stat'ya 2017: sbornik statey XII Mezhdunarodnogo

- практического конкурса. Пенза: Наука и Просвещение. - 2017. - С. 21–24.
3. Samchenko, S.V.; Larsen, O.A. Modifying the Sand Concrete with Recycled Tyre Polymer Fiber to Increase the Crack Resistance of Building Structures. *Buildings* 2023, 13,897. <https://doi.org/10.3390/buildings13040897>
4. Самоуплотняющийся бетон с компенсированной усадкой с использованием материалов из бетонного лома / С. В. Самченко, В. В. Воронин, О. А. Ларсен, В. В. Наруть // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 2(746). – С. 71-78. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-746-2-71-78. – EDN EYNTLL.
5. Silva M., Naik T.R. Sustainable use of resources – Recycling of sewage treatment plant water in concrete, in: 2nd Int. Conf. Sustain. Constr. Mater. Technol. - 2010.
6. Егоров Е.С., Самченко С.В., Абрамов М.А. Возможности применения гидродинамически активированной шламовой воды, полученной из системы рециклинга, при приготовлении новых бетонных смесей. ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. - 2022. - № 3 (68). - С. 42-54.
7. Asadollahfardi G., Asadi M., Jafari H., Moradi A., Asadollahfardi R. Experimental and statistical studies of using wash water from ready-mix concrete trucks and a batching plant in the production of fresh concrete // *Constr. Build. Mater.* – 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.053> .
8. Aboelkheir M.G., Pal K., Cardoso V.A., Celestino R., Yoshikawa N.K., Resende M. M. Influence of concrete mixer washing waste water on the chemical and mechanical properties of mortars // *J. Mol. Struct.* – 2021. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130003> .
9. Самченко, С. В. Влияние ультрадисперсной добавки из предварительно гидратированного цемента на свойства цементной пасты / С. В. Самченко, Е. С. Егоров // Техника и технология силикатов. – 2019. – Т. 26, № 2. – С. 52-57. – EDN DAQXRC.
10. Самченко, С. В. Управление свойствами цементной пасты при ее модифицировании предварительно гидратированной цементной суспензией / С. В. Самченко, Е. С. Егоров // Техника и технология силикатов. – 2021. – Т. 28, № 2. – С. 54-58. – EDN IPOIXD.
11. Самченко, С. В. Особенности повторного использования цементных суспензий при реализации технологии рециклинга бетонных смесей / С. В. Самченко, Е. С. Егоров, М. А. Абрамов // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 12. – С. 1573-1581. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.12.1573-1581. – EDN MNTVKM.
12. Самченко, С. В. Особенности протекания гидратации и твердения цементных паст с добавкой гидратированного цемента / С. В. Самченко, М. А. Абрамов, Е. С. Егоров // Техника и технология силикатов. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 24-28. – EDN XTХCAE.
13. Klus L., Aklavik V. V., Dvorsky T., Svoboda Ya., Papesh R. The use of wastewater from a concrete plant in the production of cement composites // *Buildings*. – 2017. - Vol. 7 – P. 120. doi:10.3390/BUILDINGS 7040120.
14. Бугай А.В. Современные состояния и тенденции развития отрасли строительных материалов в России /А.В. Бугай // Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации». – 2016 г.
15. Паринов С.В., Картушина Ю.Н. Технологическая схема полной переработки отходов производства особо тяжёлого бетона / С.В. Паринов, Ю.Н. Картушина // Вестник Технологического университета. - 2018. - Т. 21, № 2. - С. 63–65.
16. Bouaich F.Z., Maherzi W., El-hajjaji F., Abriak N.E., Benzerzour M., Taleb M., Rais Z. Reuse of treated wastewater and non-potable groundwater in the manufacture of concrete: major challenge of environmental preservation, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29 – 2022. – pp. 146–157. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15561-3> .
- nauchno-prakticheskogo konkursa. Penza: Nauka i Prosvetschenie. - 2017. - S. 21–24.
3. Samchenko, S.V.; Larsen, O.A. Modifying the Sand Concrete with Recycled Tyre Polymer Fiber to Increase the Crack Resistance of Building Structures. *Buildings* 2023, 13,897. <https://doi.org/10.3390/buildings13040897>
4. Samouplotnyayuschiysya beton s kompensirovannoy usadkoy s ispol'zovaniem materialov iz betonnoogo loma / S. V. Samchenko, V. V. Voronin, O. A. Larsen, V. V. Narut' // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Stroitel'stvo*. – 2021. – № 2(746). – S. 71-78. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-746-2-71-78. – EDN EYNTLL.
5. Silva M., Naik T.R. Sustainable use of resources – Recycling of sewage treatment plant water in concrete, in: 2nd Int. Conf. Sustain. Constr. Mater. Technol. - 2010.
6. Egorov E.S., Samchenko S.V., Abramov M.A. Vozmozhno-sti primeneniya gidrodinamicheski aktivirovannoy shla-movoy vody, poluchennoy iz sistemy reciklinga, pri pri-gotovlenii novyh betonnyh smesey. ALITinform: Cement. Beton. Suhie smesi. - 2022. - № 3 (68). - S. 42-54.
7. Asadollahfardi G., Asadi M., Jafari H., Moradi A., Asadol-lahfardi R. Experimental and statistical studies of using wash water from ready-mix concrete trucks and a batching plant in the production of fresh concrete // *Constr. Build. Mater.* – 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.053> .
8. Aboelkheir M.G., Pal K., Cardoso V.A., Celestino R., Yo-shikawa N.K., Resende M. M. Influence of concrete mixer washing waste water on the chemical and mechanical properties of mortars // *J. Mol. Struct.* – 2021. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130003> .
9. Samchenko, S. V. Vliyanie ul'tradispersnoy dobavki iz predvaritel'no gidratirovannogo cementa na svoystva cementnoy pasty / S. V. Samchenko, E. S. Egorov // *Tehnika i tehnologiya silikatov*. – 2019. – T. 26, № 2. – S. 52-57. – EDN DAQXRC.
10. Samchenko, S. V. Upravlenie svoystvami cementnoy pasty pri ee modifitsirovaniy predvaritel'no gidratirovannoy cementnoy suspenziy / S. V. Samchenko, E. S. Egorov // *Tehnika i tehnologiya silikatov*. – 2021. – T. 28, № 2. – S. 54-58. – EDN IPOIXD.
11. Samchenko, S. V. Osobennosti povtornogo ispol'zovaniya cementnyh suspenziy pri realizatsii tehnologii reciklinga betonnyh smesey / S. V. Samchenko, E. S. Ego-rov, M. A. Abramov // *Vestnik MGSU*. – 2021. – T. 16, № 12. – S. 1573-1581. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.12.1573-1581. – EDN MNTVKM.
12. Samchenko, S. V. Osobennosti protekaniya gidratatsii i tverdeniya cementnyh past s dobavkoy gidratirovannogo cementa / S. V. Samchenko, M. A. Abramov, E. S. Egorov // *Tehnika i tehnologiya silikatov*. – 2020. – T. 27, № 1. – S. 24-28. – EDN XTХCAE.
13. Klus L., Aklavik V. V., Dvorsky T., Svoboda Ya., Papesh R. The use of wastewater from a concrete plant in the produc-tion of cement composites // *Buildings*. – 2017. - Vol. 7 – P. 120. doi:10.3390/BUILDINGS 7040120.
14. Bugay A.V. Sovremennye sostoyaniya i tendencii razvitiya otrasli stroitel'nyh materialov v Rossii /A.V. Bu-gay // *Elektronnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal «Sovre-mennye nauchnye issledovaniya i innovatsii»*. – 2016 g.
15. Parinov S.V., Kartushina Yu.N. Tehnologicheskaya shema polnoy pererabotki othodov proizvodstva osobo tyazhelo-go betona / S.V. Parinov, Yu.N. Kartushina // *Vestnik Tehnologicheskogo universiteta*. - 2018. - T. 21, № 2. - S. 63–65.
16. Bouaich F.Z., Maherzi W., El-hajjaji F., Abriak N.E., Ben-zerzour M., Taleb M., Rais Z. Reuse of treated wastewater and non-potable groundwater in the manufacture of concrete: major challenge of environmental preservation, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29 – 2022. – pp. 146–157. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15561-3> .

*Работа представлена на II Международном научно-практическом симпозиуме «Будущее строительной отрасли: Вызовы и перспективы развития».*

*Работа выполнена в НИУ МГСУ в рамках реализации Программы развития университета «ПРИОРИТЕТ 2030». Проект 3.1 «Научный прорыв в строительной отрасли – новые технологии, новые материалы, новые методы».*

*The work was carried out at NIU MSCU within the framework of the University Development Program “PRIORITY 2030”. Project 3.1 “Scientific breakthrough in the construction industry - new technologies, new materials, new methods”*

*Ларсен Оксана Александровна* – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
E-mail: [larsen.oksana@mail.ru](mailto:larsen.oksana@mail.ru)

*Бахрах Антон Михайлович* – аспирант кафедры Строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), E-mail: [antonbahrah@mail.ru](mailto:antonbahrah@mail.ru)

*Машина Татьяна Юрьевна* – магистрант кафедры Строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),  
E-mail: [mashina-tatiana19@yandex.ru](mailto:mashina-tatiana19@yandex.ru)

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Larsen Oksana Alexandrovna* – PhD., Associate Professor; Federal State Educational Institution of Higher Education “National Research Moscow State University of Civil Engineering”,  
E-mail: [larsen.oksana@mail.ru](mailto:larsen.oksana@mail.ru)

*Bahrakh Anton Mihailovich* – postgraduate student of the Research Institute of Building Materials and Technologies of the National Research Moscow State Construction University (NRU MSCU), E-mail: [antonbahrah@mail.ru](mailto:antonbahrah@mail.ru)

*Machine Tatyana Yurievna* - Master's student of the Research Institute of Building Materials and Technologies of the National Research Moscow State Construction University (NRU MSCU),  
E-mail: [mashina-tatiana19@yandex.ru](mailto:mashina-tatiana19@yandex.ru)

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