

УДК 666.946.3

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 67.09.31

Научная специальность ВАК: 2.1.05 Строительные материалы и изделия (технические науки)

EDN BTJEET

DOI 10.62980/2076-0655-2024-182-193

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Самченко С.В.¹, Тоболев П.Д.¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

АННОТАЦИЯ

Обеспечение высокой водонепроницаемости, морозостойкости и коррозионной стойкости конструкций гидротехнических сооружений достигается созданием бетонов плотной структуры, позволяющей воспринимать агрессивные воздействия. Это возможно модификацией структуры бетона полимерными добавками нового поколения. Введение полимерных добавок оказывает пластифицирующее действие и способствует сохранению технологических свойств бетонной смеси, модифицирует поровую структуру бетона и оказывает влияние на формирование прочности цементного камня. В работе представлены результаты исследований о влиянии полимерной добавки на основе поливинилпирролидона на основные свойства портландцементного вяжущего. Установлено, что прочность на сжатие в возрасте 2 сут повышается на 7% при содержании полимерной добавки в количестве 0,8%. Также введение полимерной добавки повышает прочность на сжатие в возрасте 28 сут при ее содержании в количестве 0,6 и 0,8% на 22 и 27% соответственно. Установлено влияние полимерного модификатора на формирование первоначальной структуры, проявляющееся в увеличении времени начала и ускорении конца схватывания. Изучена кинетика тепловыделения цементного теста в присутствии полимерного модификатора в количестве 0,6%. Приведены данные фазового состава цементного камня в присутствии полимерного модификатора. Установлено с помощью методов электронно-микроскопического анализа, что введение полимерной добавки способствует модификации микроструктуры цементного камня с образованием более плотной однородной структуры. Приведенные результаты исследований учитываются при разработке составов бетонов с комплексом заданных свойств, необходимых для строительства гидротехнических сооружений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидротехнический бетон, портландцемент, полимерная добавка, уплотнение структуры, структурообразование

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Самченко, С. В. Модифицирование свойств гидротехнических бетонов добавками на основе высокомолекулярных соединений / С. В. Самченко, П. Д. Тоболев // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, № 2. – С. 182-194. EDN BTJEET. DOI 10.62980/2076-0655-2024-182-193

Type of article - scientific article

OECD 2.01 Civil engineering

FA CONSTRUCTION & BUILDING TECHNOLOGY

EDN BTJEET

DOI 10.62980/2076-0655-2024-182-193

MODIFICATION OF HYDRAULIC ENGINEERING CONCRETE PROPERTIES BY ADDITIVES BASED ON HIGH MOLECULAR WEIGHT COMPOUNDS

Samchenko S.V.¹, Tobolev P.D.¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering

ABSTRACT

Ensuring high water resistance, frost resistance and corrosion resistance of hydraulic structures is achieved by creating concrete with a dense structure that can absorb aggressive influences. This is possible by modifying the structure of concrete with polymer additives of new generation. The introduction of polymer additives has a plasticizing effect and contributes to the preservation of technological properties of the concrete mixture, modifies the pore structure of concrete and influences the formation of cement stone strength. The paper presents the results of research on the effect of polymer additive based on polyvinylpyrrolidone on the basic properties of Portland cement binder. It was found that the compressive strength at the age of 2 days increases by 7% at the content of polymer additive in the amount of 0.8%. Also, introduction of polymer additive increases the compressive strength at the age of 28 days at its content of 0.6 and 0.8% by 22 and 27%, respectively. The effect of polymer modifier on the formation of the initial structure, manifested in the increase in the time of the beginning and acceleration of the end of setting has been established. The kinetics of heat release of cement dough in the presence of polymeric modifier in the amount of 0.6% has been studied. The data on the phase composition of cement stone in the presence of polymer modifier are given. It is established by means of electron microscopic analysis that the introduction of polymeric admixture promotes modification of cement stone microstructure with formation of more dense homogeneous structure. The given research results are taken into account in the development of concrete compositions with a set of specified properties required for the construction of hydraulic structures.

KEY WORDS: hydraulic concrete, Portland cement, polymer additive, structure compaction, structure formation

FOR CITATION: Samchenko, S. V. Modification of hydraulic engineering concrete properties by additives based on high molecular weight compounds / S. V. Samchenko, P. D. Tobolev // Technique and technology of silicates. – 2024. Vol. – 31, No-2. – Pp. 182 – 193. EDN BTJEET. DOI 10.62980/2076-0655-2024-182-193

ВВЕДЕНИЕ

Конструкции гидротехнических сооружений подвержены воздействию различных факторов, включающих попеременное или постоянное воздействие воды и низких температур, воздействие на бетон агрессивных вод и наносов, способствующих выщелачиванию, а также кавитация и различные виды коррозии [1-5]. Поэтому получение бетонов заданной прочности и долговечности является актуальной задачей.

Долговечность бетона обеспечивается правильным выбором вяжущих и заполнителей, рациональным подбором состава бетонной смеси, ее укладки и уплотнения, а также необходимым уходом твердеющего бетона [6-10].

Известно, что к основным положениям при проектировании состава бетона массивных конструкций гидротехнических сооружений можно отнести минимальное содержание портландцемента для внутренних частей массивных сооружений [11]. В гидротехнических бетонах можно условно выделить зоны, которые наиболее подвержены внешним воздействиям. Так, например, к бетонам наружных зон предъявляются требования сопротивлению внешним факторам и водонепроницаемости [5]. Гидротехнический бетон для облицовки каналов подвергается систематическому увлажнению и высыханию, поэтому эти факторы будут оказывать воздействие на долговечность и прочность бетона [1,2].

Отличительными свойствами гидротехнического бетона являются высокая водонепроницаемость, сопротивляемость воздействию внешней среды, прочность и истираемость [9]. Получение составов с такими высокими показателями возможно при использовании рационально подобранной смеси вяжущего, заполнителей и комплекса добавок, модифицирующих структуру бетона [3, 12-15].

Для обеспечения высокой коррозионной стойкости и водонепроницаемости необходимо создание плотной структуры, позволяющей воспринимать агрессивные воздействия. Это достигается применением пластифицирующих добавок, микрозаполнителей и специальных вяжущих, снижением водоцементного отношения [16-24].

Одним из способов повышения водонепроницаемости и морозостойкости бетонов является введение в их состав специальных добавок, способствующих повышению плотности бетона, механизм действия которых основан на коагуляции пор размером более 1 мкм и уплотнения структуры бетона. В настоящее время ассортимент добавок-модификаторов для повышения водонепроницаемости достаточно широк. Существуют добавки, которые способны повысить это свойство в несколько раз. К ним можно отнести различные модификаторы, повышающие не только водонепроницаемость и морозостойкость, но и подвижность, нерасслаиваемость, коррозионную стойкость бетонной смеси и бетона. Основными представителями таких добавок являются нитраты, хлориды и сульфаты железа, нитраты кальция, комплексные органоминеральные добавки, битумные эмульсии, полимерные добавки (диэтиленгликолевая ДЭГ-1, триэтиленгликолевая ТЭГ-1, полиаминная С-89), стеараты цинка и кальция [25-27].

На сегодняшний день наиболее доступными модификаторами, которые подтвердили свою эффективность, являются добавки на основе полимеров. Полимерные добавки вводятся в небольших количествах от массы цемента (1-

INTRODUCTION

Structures of hydraulic engineering structures are exposed to various factors, including alternating or constant exposure to water and low temperatures, exposure of concrete to aggressive waters and sediments that contribute to leaching, as well as cavitation and various types of corrosion [1-5]. Therefore, obtaining concretes of a given strength and durability is an urgent task.

The durability of concrete is ensured by proper selection of binders and aggregates, rational selection of concrete mixture composition, its placement and compaction, as well as the necessary care of hardening concrete [6-10].

It is known that the main provisions for designing the concrete composition of massive structures of hydraulic engineering structures include the minimum content of Portland cement for the internal parts of massive structures [11]. In hydrotechnical concretes it is possible to conditionally allocate zones which are most exposed to external influences. Thus, for example, the concrete of external zones is subject to the requirements of resistance to external factors and water resistance [5]. Hydrotechnical concrete for canal lining is subjected to systematic moistening and drying, so these factors will affect the durability and strength of concrete [1,2].

The distinctive properties of hydraulic concrete are high water resistance, resistance to environmental influences, strength and abrasion resistance [9]. Obtaining compositions with such high performance is possible when using a rationally selected mixture of binder, aggregates and a complex of additives that modify the structure of concrete [3, 12-15].

To ensure high corrosion resistance and water resistance, it is necessary to create a dense structure that allows to absorb aggressive effects. This is achieved by using plasticizing additives, microfillers and special binders, reducing the water-cement ratio [16-24].

One of the ways to increase the water and frost resistance of concrete is the introduction of special additives that increase the density of concrete, the mechanism of action of which is based on the colmatization of pores larger than 1 micron and the compaction of the concrete structure. Currently, the range of additives-modifiers to increase water resistance is quite wide. There are additives that can increase this property several times. These include various modifiers that increase not only water and frost resistance, but also mobility, non-dissolution, corrosion resistance of concrete mixture and concrete. The main representatives of such additives are nitrates, iron chlorides and sulfates, calcium nitrates, complex organomineral additives, bituminous emulsions, polymer additives (diethylene glycol DEG-1, triethylene glycol TEG-1, polyamine C-89), zinc and calcium stearates [25-27].

Today, the most available modifiers that have proven their effectiveness are polymer-based additives. Polymer additives are introduced in small quantities of cement mass (1-2%) and have different effects on concrete properties. The mechanism of their action is the formation of a thin polymer film, which contributes to a stronger

2%) и по-разному отражаются на свойствах бетона. Механизм действия их заключается в образовании тонкой полимерной пленки, которая способствует более прочному соединению компонентов бетонной смеси между собой. К наиболее изученным относятся гидроксилсодержащие олигомеры и полимеры целевого назначения - поливиниловые спирты, водорастворимые фенольные и полиаминные смолы, алифатические эпоксидные смолы марок ДЭГ-1 и ТЭГ-1, а также ацетоноформальдегидные олигомеры [28-32].

Механизм действия таких добавок заключается в том, что они адсорбируются поверхностями гидратных новообразований и практически не адсорбируются негидратированными зёрнами цемента. При этом водный раствор добавки понижает поверхностное натяжение на границе раздела жидкой и твердой фазы и разоблачает частицы вяжущего. Адсорбированные поверхностями зародышей гидратных соединений пленки затрудняют рост кристаллов новообразований с одновременным увеличением числа зародышей и дисперсности кристаллогидратов. Таким образом, они могут оказывать стабилизирующее действие в индукционный период структурообразования и в последующем не замедляют процесс твердения и набора прочности бетона в ранние сроки.

Применение водорастворимых смол позволяет снизить водопотребность бетонной смеси на 10-20% и расход цемента на 10-15% [31]. Присутствие гидроксильных групп в этих смолах оказывает значительное влияние на прочностные и деформативные свойства бетонов. Несмотря на незначительное содержание гидроксильных групп в водорастворимых эпоксидных смолах, количество которых находится в пределах 7-9%, введение в бетон этого полимера от 1 до 2% способствует не только повышению прочности в 2 раза, но позволяет вдвое уменьшить усадочные деформации [32].

Основным недостатком водорастворимых смол является их высокая стоимость, а также необходимость введения в большом количестве (1-2%).

Ассортимент полимерных добавок постоянно расширяется. В последнее время представлены новые разновидности модификаторов бетона, которым можно отнести полимерную добавку на основе водорастворимого высокомолекулярного поливинилпирролидона.

Цель данной исследовательской работы являлось изучение влияния водорастворимой добавки на основе поливинилпирролидона на основные свойства портландцементного вяжущего.

Материалы и методы

В данном исследовании для оценки влияния полимерных добавок на свойства вяжущего применялись следующие материалы:

- портландцемент ЦЕМ 0 42,5Н производства ЗАО «Осколцемент», соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные. Технические условия». Минералогический состав портландцемента представлен в табл. 1.

- полимерная добавка на основе поливинилпирролидона, основные свойства которой представлены в табл. 2.

- вода водопроводная по ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов».

connection of the components of the concrete mixture between themselves. Among the most studied are hydroxyl-containing oligomers and polymers of target purpose - polyvinyl alcohols, water-soluble phenolic and polyamine resins, aliphatic epoxy resins of DEG-1 and TEG-1 grades, as well as acetone-formaldehyde oligomers [28-32].

The mechanism of action of such additives is that they are adsorbed by the surfaces of hydrate formations and practically not adsorbed by non-hydrated cement grains. In this case, the aqueous solution of the additive lowers the surface tension at the interface between liquid and solid phases and separates the binder particles. The films adsorbed by the surfaces of hydrate nuclei impede the growth of crystals of new formations with a simultaneous increase in the number of nuclei and dispersity of crystalline hydrates. Thus, they can have a stabilizing effect in the induction period of structure formation and in the aftermath do not slow down the process of hardening and strength gain of concrete in the early terms.

The use of water-soluble resins can reduce the water consumption of concrete mixture by 10-20% and cement consumption by 10-15% [31]. The presence of hydroxyl groups in these resins has a significant effect on the strength and deformation properties of concrete. Despite the insignificant content of hydroxyl groups in water-soluble epoxy resins, the amount of which is in the range of 7-9%, the introduction of this polymer into concrete from 1 to 2% contributes not only to a 2-fold increase in strength, but also allows to halve shrinkage deformations [32].

The main disadvantage of water-soluble resins is their high cost, as well as the need for large quantities (1-2%).

The range of polymer additives is constantly expanding. Recently, new varieties of concrete modifiers have been presented, to which can be attributed a polymeric additive based on water-soluble high-molecular polyvinylpyrrolidone.

The purpose of this research work was to study the effect of water-soluble additive based on polyvinylpyrrolidone on the basic properties of Portland cement

Materials and methods

The following materials were used in this study to evaluate the effect of polymer additives on binder properties:

- Portland cement CEM 0 42,5H produced by CJSC "Oskolcement", corresponding to the requirements of GOST 31108-2020 "Cements for general construction. Technical conditions". Mineralogical composition of Portland cement is presented in Table 1.

- polymeric additive on the basis of polyvinylpyrrolidone, the main properties of which are presented in Table 2.

- tap water according to GOST 23732-2011 "Water for concrete and mortars".

ТАБЛИЦА 1 МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА ЦЕМ 0 42,5Н

Table 1 - Mineralogical composition of Portland cement CEM 0 42,5H

Содержание минералов, %					
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	MgO	п.п.п
61,77	13,56	6,66	14,89	0,98	1,25

ТАБЛИЦА 2 – ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКИ

Table 2 - Main properties of polymer additive

№	Наименование показателя	Характеристика и норма
1	Описание	Вязкая прозрачная или слегка опалесцирующая бесцветная или слабоокрашенная жидкость
2	Растворимость	Легко растворим в воде, в спирте
3	Плотность, г/см ³	1,01-1,03
4	pH	5-11
5	Вязкость, МПа·с	3000-5000
6	Содержание действующего вещества, %	10-15

Для исследования нормальной густоты цементного теста и сроков схватывания применялся прибор Вика согласно методике ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема». Для определения прочности при изгибе готовился цементный раствор в соответствии с ГОСТ 310.1-79 «Цементы. Методы испытаний. Общие положения». Введение полимерной добавки в цементное тесто и растворную смесь осуществлялось вместе с водой затворения.

Для исследования влияния полимерной добавки на прочностные свойства цементного камня готовились образцы-кубы размером 20×20 мм на тесте нормальной густоты, которая составила 25%. Для исследования влияния полимерной добавки на прочностные свойства при изгибе готовились образцы-балочки размером 40×40×160 мм из смеси состава 1:3 на из стандартного монофракционного песка при водоцементном отношении, равном 0,4. Количество вводимой в цементное тесто и раствор добавки составило 0,4; 0,6 и 0,8% от массы цемента. Далее смесь перемешивалась в течение 3 мин. Изготовленные образцы хранились в камере нормального твердения в течение суток, а далее подвергались распалубке и хранились в воде в течение 27 сут при температуре 20±2°C. Определение прочностных показателей проводилось в возрасте 2, 7, 14, 21 и 28 сут.

Исследование влияния полимерной добавки на структурообразование по кинетике тепловыделения портландцемента проводилось на тесте нормальной густоты с содержанием добавки в количестве 0,6 % от массы вяжущего с помощью изотермического калориметра TAM Air. Исследование влияния полимерной добавки на фазовый состав продуктов гидратации портландцемента проводился на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA. Исследование микроструктуры цементного камня проводилось с помощью растрового электронного микроскопа FEI Quanta 200.

Результаты и обсуждение

Влияние поверхностно-активных веществ на свойства вяжущего имеет первостепенное значение в технологии бетона. Исследование влияния полимерной

To investigate the normal density of cement dough and setting time the Vick's device was used according to the method of GOST 310.3-76 "Cements. Methods of determination of normal density, setting time and uniformity of volume change". To determine the flexural strength, cement mortar was prepared in accordance with GOST 310.1-79 "Cements. Test methods. General provisions." Introduction of polymer additive into cement batter and mortar mixture was carried out together with mixing water.

To study the effect of the polymer additive on the strength properties of cement stone, cube samples of 20×20 mm in size were prepared on the test of normal density, which amounted to 25%. To study the effect of polymer additive on the bending strength properties of the cement stone we prepared specimen beams with the size of 40×40×160 mm from the mixture of composition 1:3 on the standard monofractional sand at the water-cement ratio equal to 0.4. The amount of the additive introduced into the cement batter and mortar was 0.4; 0.6 and 0.8% of the cement mass. Then the mixture was stirred for 3 min. The made samples were stored in the chamber of normal hardening for a day, and then were subjected to demolding and stored in water for 27 days at a temperature of 20±2°C. Determination of strength parameters was carried out at the age of 2, 7, 14, 21 and 28 days.

The influence of polymer additive on structure formation by the heat release kinetics of Portland cement was investigated on the test of normal density with the additive content in the amount of 0.6 % of the binder weight using isothermal calorimeter TAM Air. The influence of polymer additive on the phase composition of hydration products of portland cement was studied on X-ray diffractometer ARL X'TRA. The microstructure of the cement stone was studied using an FEI Quanta 200 scanning electron microscope.

Results and discussion

The influence of surfactants on binder properties is of paramount importance in concrete technology. The influence of polymer additive on the change of water consumption and setting time of Portland cement was investigated on the test of normal density at its content of 0.6% of the binder weight.

добавки на изменение водопотребности и сроки схватывания портландцемента проводилось на тесте нормальной густоты при ее содержании в количестве 0,6% от массы вяжущего. Данные табл. 3 указывают, что введение добавки снижает показатель нормальной густоты цемента на 10% по сравнению с контрольным составом, что объясняется пластифицирующим действием, гидрофильностью и снижением поверхностного натяжения на границе вода — воздух или вода — твердое тело. Это может положительно сказаться на повышении однородности, удобоукладываемости и удобообрабатываемости бетонной смеси, снижении водоотделения при длительной транспортировке. Положительное влияние полимерной добавки может проявляться в сохранении седиментационной устойчивости бетонной смеси в период до ее схватывания, что позволит устранить места разрушения в зонах ослабленного или неплотного контакта цементного камня и заполнителей.

Исследование сроков схватывания цементного теста в присутствии полимерной добавки показало, что она замедляет начало схватывания на 30 мин. В тоже время, введение полимера приводит к уменьшению конца схватывания в среднем на 45 мин.

The data of Table 3 indicate that the introduction of the additive reduces the index of normal density of cement by 10% compared to the control composition, which is explained by plasticizing effect, hydrophilicity and reduction of surface tension at the boundary between water - air or water - solid. This may have a positive effect on improving the uniformity, workability and workability of the concrete mixture, reducing water separation during long transportation. The positive effect of polymer additive can be manifested in the preservation of sedimentation stability of concrete mixture in the period before its setting, which will allow to eliminate the places of destruction in the areas of weakened or loose contact of cement stone and aggregates.

The study of setting time of cement dough in the presence of polymer additive showed that it slows down the onset of setting by 30 min. At the same time, the introduction of polymer reduces the end of setting by an average of 45 min.

ТАБЛИЦА 3 - ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ВОДОПОТРЕБНОСТИ ЦЕМЕНТА И СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ

Table 3 - Effect of polymer additive on changes in cement water demand and setting time

Наименование показателей Name of the indicators		ЦЕМ 0 42,5Н CEM 0 42.5H	ЦЕМ 0 42,5Н + 0,6% Поли- мерная добавка CEM 0 42.5H + 0.6% Polymer additive
Нормальная густота, % Normal density, %		25	22,5
Сроки схватывания, мин Setting time, min	начало схватывания beginning of setting	155	185
	конец схватывания end of setting	350	305

Влияние полимерной добавки на процесс структурообразования проводился с помощью прибора Вика и calorиметрическим методом на цементном тесте нормальной густоты в присутствии полимерной добавки в количестве 0,6% от массы вяжущего.

Процесс структурообразования цементного теста в присутствии полимерной добавки и переход из коагуляционного в коагуляционно-кристаллизационного состояние можно охарактеризовать кривой изменения сроков схватывания цементного теста (рис. 1). Анализ данных позволяет сделать вывод о том, что полимерный модификатор замедляет формирование первоначальной структуры, проявляющийся в увеличении времени начала схватывания. В тоже время, формирование коагуляционно-кристаллизационного структурообразования сдвигается в сторону уменьшения у состава с полимерным модификатором на 45 мин, что согласуется с данными тепловыделения, представленными на рис. 2. Из полученных данных можно сделать вывод о том, что полимерный модификатор ускоряет процесс кристаллизации продуктов гидратации цемента на ранних стадиях твердения, обеспечивая в дальнейшем более высокую прочность цементного камня.

The effect of polymer additive on the process of structure formation was carried out using Vick's device and calorimetric method on cement test of normal density in the presence of polymer additive in the amount of 0.6% of the mass of binder.

The process of cement dough structure formation in the presence of polymer additive and the transition from coagulation to coagulation-crystallization state can be characterized by the curve of change in the setting time of cement dough (Fig. 1). Analysis of the data allows us to conclude that the polymer modifier slows down the formation of the initial structure, which is manifested in the increase of the setting time. At the same time, the formation of coagulation-crystallization structure formation is shifted downward in the composition with polymer modifier by 45 min, which agrees with the heat release data presented in Fig. 2. From the obtained data it can be concluded that polymer modifier accelerates the process of crystallization of cement hydration products at early stages of hardening, providing further higher strength of cement stone.

The initial structure formation of cement dough was also investigated by heat of hydration in the presence of polymer

Начальное структурообразование цементного теста также исследовалось по теплоте гидратации в присутствии полимерной добавки в количестве 0,6%. В работе [13] показано, что в присутствии полимерных добавок интенсивность гидратации цемента и максимальная температура разогрева смеси снижаются, причем уменьшение тем значительней, чем больше содержание полимера. Повышение тепловыделения наблюдается при введении акрилатных дисперсий, а также водорастворимых полимеров, таких как С-89 и ДЭГ-1.

additive in the amount of 0.6%. In [13] it is shown that in the presence of polymer additives the intensity of cement hydration and the maximum temperature of mixture heating decrease, and the decrease is more significant the greater the polymer content. Increase in heat generation is observed with the introduction of acrylate dispersions, as well as water-soluble polymers such as C-89 and DEG-1.

РИСУНОК 1

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ

Figure 1

Influence of polymer additive on structure formation of cement dough of normal density

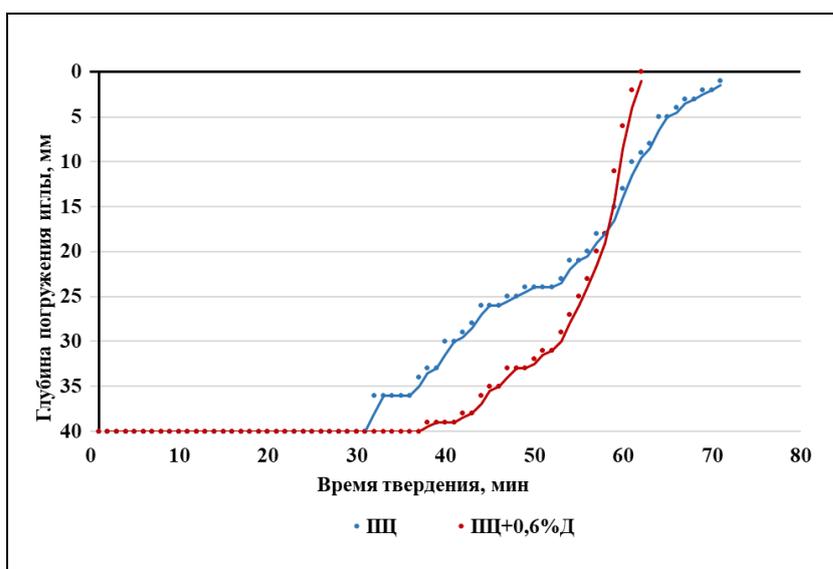
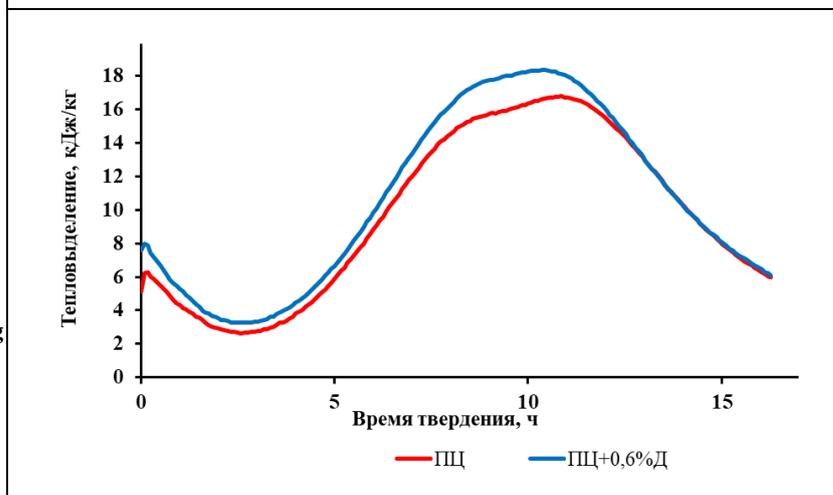


РИСУНОК 2

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКИ НА ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ПРИ ТВЕРДЕНИИ

Figure 2

Effect of polymer additive on heat release of normal density cement dough during hardening



Согласно полученным данным, введение полимерной добавки в количестве 0,6 % от массы цемента способствует повышению тепловыделения по сравнению с контрольным составом.

На кривой тепловыделения, представленной на рис. 2, можно условно выделить три экзотермических эффекта. Первый максимум наступает у контрольного состава и состава с добавкой через 10 и 5 мин и с большим тепловыделением соответственно, что свидетельствует о более интенсивной гидратации в присутствии добавки. Второй, менее интенсивный, соответствующий началу процесса кристаллизации и окончанию индукционного периода, наступает через 240 и 210 мин соответственно. Третий пик, соответствующий периоду ускорения с максимальным тепловыделением, наступает через 11 и 10 час 45 мин соответственно. При этом экзотермический эффект у состава,

According to the obtained data, the introduction of polymer additive in the amount of 0.6 % of the cement mass contributes to the increase of heat release in comparison with the control composition.

On the heat release curve presented in Fig. 2, three exothermic effects can be conditionally distinguished. The first maximum occurs in the control composition and the composition with the additive after 10 and 5 min and with high heat release, respectively, which indicates a more intensive hydration in the presence of the additive. The second, less intense peak corresponding to the beginning of the crystallization process and the end of the induction period occurs after 240 and 210 min, respectively. The third peak, corresponding to the acceleration period with maximum heat release, occurs after 11 and 10 h 45 min, respectively. At the same time, the exothermic effect of the

содержащего полимер, значительно больший, что свидетельствует о влиянии полимерной добавки на интенсивность образования продуктов гидратации цемента.

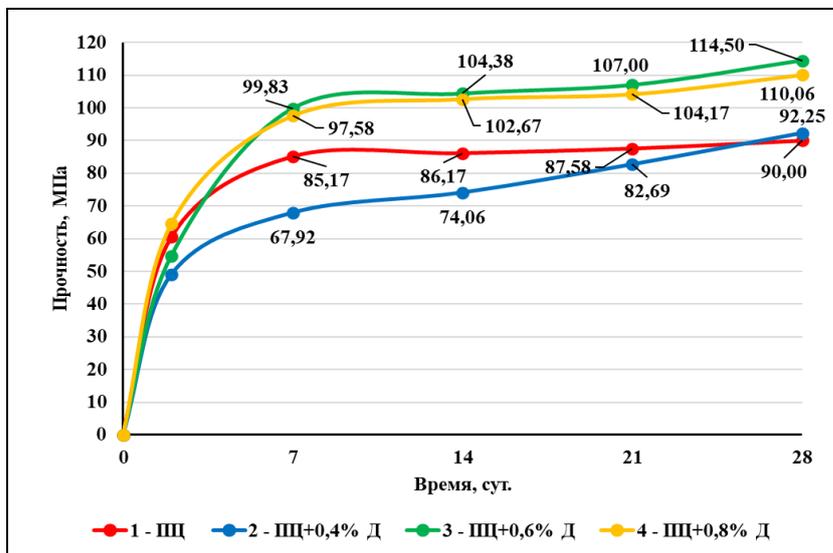
Изучение влияния полимерной добавки на прочностные показатели цементного камня проводилось в возрасте 2, 7, 14, 21 и 28 сут нормального твердения. Количество вводимого полимера составило 0,4; 0,6 и 0,8% от массы цемента. Кинетика изменения прочности представлена на рис.3.

РИСУНОК 3

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКИ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ПРИ СЖАТИИ

Figure 3

Effect of polymer additive on compressive strength of cement stone



Установлено, что прочность на сжатие в начальные сроки твердения (2 сут) повышается на 7% при содержании полимерной добавки в количестве 0,8 %. Однако снижение прочности происходит при введении полимера в количестве 0,4 и 0,6 % от массы цемента на 11 и 23 % соответственно.

Прочностные свойства образцов в возрасте 28 сут при содержании добавки в количестве 0,6 и 0,8% выросли на 22 и 27% соответственно в сравнении с контрольным без добавочным цементом. При введении добавки в цементное вяжущее в количестве 0,4 % не снижает прочность на сжатие и находится в пределах 92,3 МПа.

Фазовый состав цементного камня в присутствии полимерного модификатора исследовался с помощью рентгенофазового анализа. Зарегистрированная дифрактограмма цементного камня бездобавочного цемента и цемента с различным содержанием полимерной добавки представлены на рис.4.

Полученные результаты показали, что в зависимости от количества полимерной добавки гидратация портландцемента замедляется, о чем свидетельствует небольшое уменьшение интенсивности пика C_3S (рис. 5). При этом степень гидратации, как видно из рис. 6, ниже по сравнению с чистым портландцементом. Несмотря на меньшую степень гидратации цемента модифицированного состава, соответствующего меньшей интенсивности пика C_3S , присутствие полимерного модификатора может способствовать интенсификации связывания гипса и стабилизации на определенный период этtringита, а также ускорению гидролиза клинкерных минералов и кристаллизации гидроксида кальция и первичных гидросиликатов, что подтверждается данными электронной микроскопии (рис.7).

composition containing polymer is much greater, which indicates the influence of the polymer additive on the intensity of formation of hydration products of cement.

The influence of polymer additive on strength parameters of cement stone was studied at the age of 2, 7, 14, 21 and 28 days of normal curing. The amount of introduced polymer amounted to 0.4; 0.6 and 0.8% of cement weight. The kinetics of strength change is presented in Fig.3.

It was found that the compressive strength in the initial hardening period (2 days) increases by 7% when the polymer additive is 0.8 %. However, the strength decreases when the polymer is added in the amount of 0.4 and 0.6 % of the cement weight by 11 and 23 % respectively.

Strength properties of samples at the age of 28 days at the content of 0.6 and 0.8% additive increased by 22 and 27% respectively in comparison with the control without additive cement. At introduction of an additive in cement binder in quantity 0,4 % does not reduce compressive strength and is within 92,3 МПа.

The phase composition of cement stone in the presence of polymer modifier was investigated by X-ray phase analysis. The registered diffractogram of cement stone of cement without additive cement and cement with different content of polymer additive are presented in Fig.4.

The obtained results showed that depending on the amount of polymer additive, the hydration of Portland cement slows down, as evidenced by a slight decrease in the intensity of the C_3S peak (Fig. 5). At the same time, the degree of hydration, as can be seen from Fig. 6, is lower compared to pure Portland cement. Despite the lower degree of hydration of cement of the modified composition, corresponding to a lower intensity of the C_3S peak, the presence of polymeric modifier can contribute to the intensification of gypsum binding and stabilization for a certain period of ettringite, as well as accelerate the hydrolysis of clinker minerals and crystallization of calcium hydroxide and primary hydrosilicates, which is confirmed by electron microscopy data (Fig. 7).

РИСУНОК 4

ДИФРАКТОГРАММЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

а – ЦЕМ 0 42,5Н
 б – ЦЕМ 0 42,5Н в присутствии полимерного модификатора

Figure 4

Diffractograms of cement stone

а - СЕМ 0 42.5Н
 б - СЕМ 0 42.5Н in the presence of polymer modifier

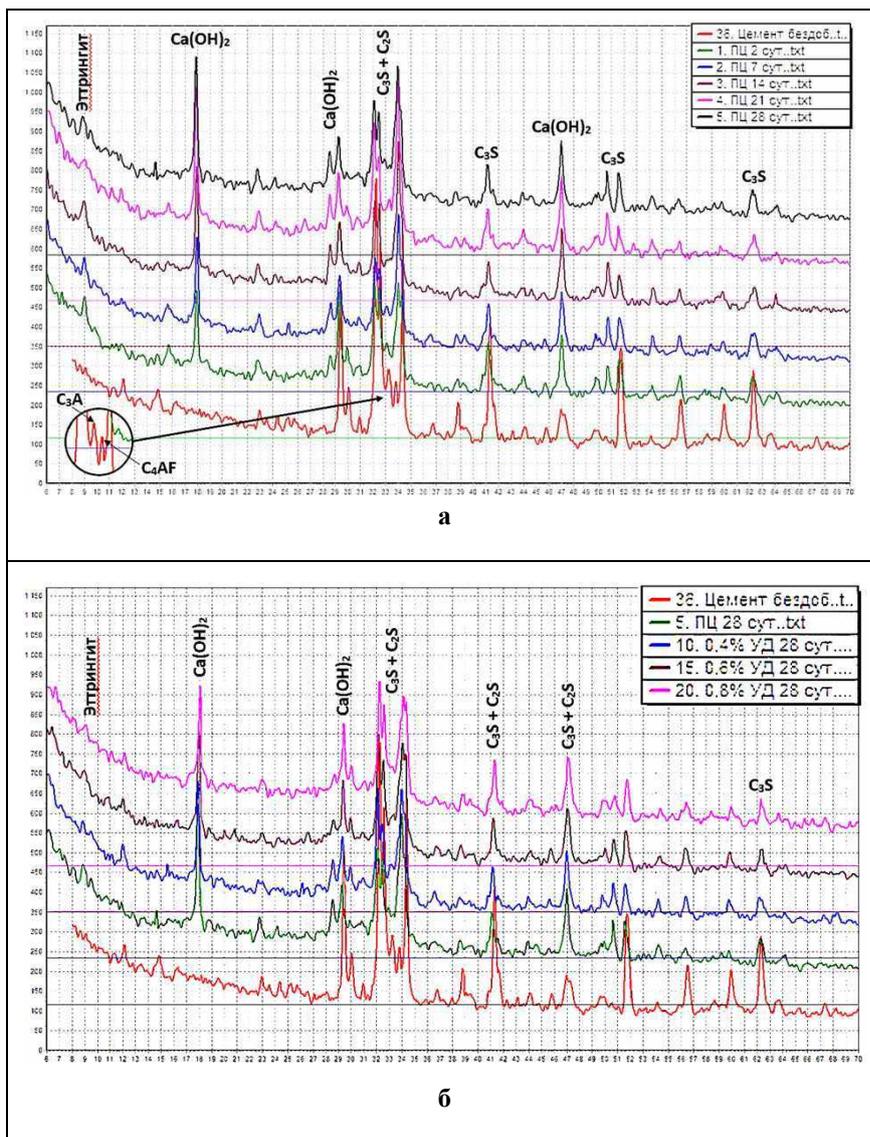


РИСУНОК 5

ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПИКА C_3S ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ВОЗРАСТЕ 2 И 28 СУТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКИ

Figure 5

Variation of C_3S peak intensity of cement stone at the age of 2 and 28 days depending on the polymer additive content

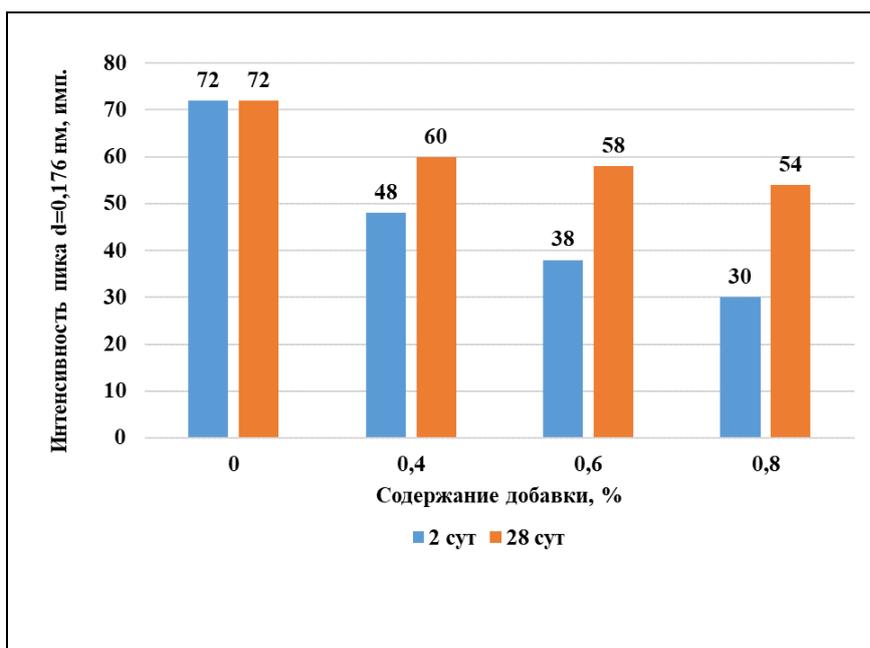


РИСУНОК 6

СТЕПЕНЬ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА В ВОЗРАСТЕ 2 И 28 СУТ В ВОЗРАСТЕ 2 И 28 СУТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКИ

Figure 6

Degree of cement hydration at the age of 2 and 28 days at the age of 2 and 28 days depending on the content of polymer additive

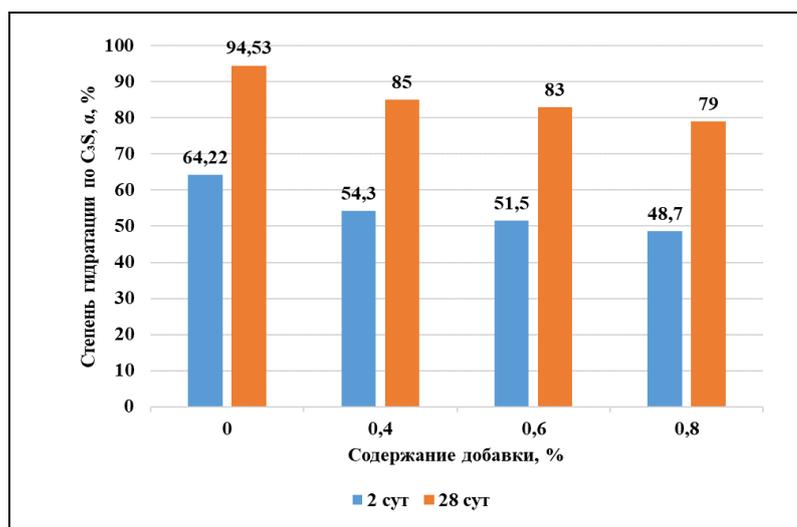


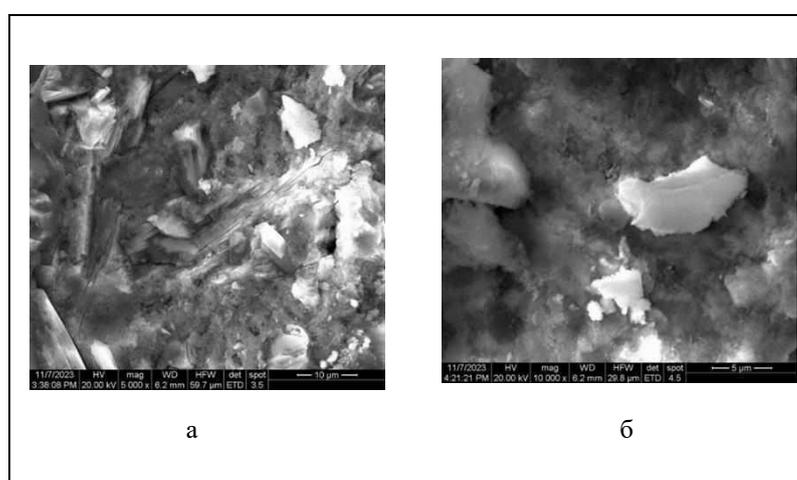
РИСУНОК 7

МИКРОСТРУКТУРА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ВОЗРАСТЕ 28 СУТ ТВЕРДЕНИЯ:
а – ЦЕМ 0 42,5Н
б – ЦЕМ 0 42,5Н в присутствии полимерного модификатора

Figure 4

Microstructure of cement stone at the age of 28 days of hardening:

а - СЕМ 0 42,5Н
б - СЕМ 0 42.5Н in the presence of polymer modifier



Изучение микроstructures цементного камня в присутствии полимера показало образование более плотной однородной структуры, содержащей незначительное количество пор. Было установлено, что цементная матрица контрольных образцов имеет достаточно плотную структуру и характеризуется наличием микрокапиллярных пор размером от 0,1-10 мкм (рис. 7а). Использование в составе цемента полимерной добавки (рис. 7б) приводит к получению цементного камня меньшей пористости с более высокими показателями однородности микроstructures за счет образования полимерных пленок, кольматирующих микрокапиллярные поры цементной матрицы. По результатам энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа, установлено, что составы цементных матриц контрольного образца и образца с полимерной добавкой преимущественно представлены микрокристаллическим портландитом, кристаллическими высокоосновными (C-S-H(II)) и низкоосновными (C-S-H(I)) гидросиликатами кальция, а также гелеобразной фазой (C-S-H-гель).

Заключение

1. Полимерная добавка на основе поливинилпирролидона обладает пластифицирующим действием, которая снижает показатель нормальной плотности на 10% при ее содержании в вяжущем в количестве 0,6 %.

2. Полимерная добавка оказывает влияние на формирование первоначальной структуры, проявляющееся в

The study of cement microstructure in the presence of polymer showed the formation of a more dense homogeneous structure containing an insignificant number of pores. It was found that the cement matrix of control samples has a rather dense structure and is characterized by the presence of microcapillary pores ranging in size from 0.1-10 microns (Fig. 7a). The use of polymer additive in the cement composition (Fig. 7b) leads to the cement stone of lower porosity with higher homogeneity of microstructure due to the formation of polymer films that ring the microcapillary pores of the cement matrix. According to the results of energy-dispersive X-ray microanalysis, it was found that the compositions of cement matrixes of the control sample and the sample with polymer additive are mainly represented by microcrystalline portlandite, crystalline high-basic (C-S-H(II)) and low-basic (C-S-H(I)) calcium hydrosilicates, as well as gel phase (C-S-H-gel).

Conclusions

1. Polymer additive based on polyvinylpyrrolidone has plasticizing effect, which reduces the normal density index by 10% when it is contained in the binder in the amount of 0.6%.

2. The polymer additive has an effect on the initial structure formation, manifested by a change in setting time compared to the control unmodified formulation.

изменении сроков схватывания по сравнению с контрольным не модифицированным составом.

3. Введение полимерного модификатора в количестве 0,6 % в цементное тесто способствует повышению тепловыделения по сравнению с контрольным составом.

4. Полимерная добавка на основе поливинилпирролидона замедляет гидратацию портландцемента, что подтверждается данными рентгенофазового анализа, но введение полимерной добавки в цементное тесто способствует повышению прочности на сжатие в возрасте 2 и 28 сут.

5. Модификация структуры полимерной добавкой на основе поливинилпирролидона способствует образованию структуры цементного камня плотной однородной структуры и меньшей пористости.

6. Полученные результаты показывают, что полимерная добавка на основе поливинилпирролидона может применяться для модификации структуры цементного камня и бетона.

Литература:

1. Тимофеева, Е. С. Специфика использования гидротехнического бетона в строительстве / Е. С. Тимофеева, М. А. Елесин // Научный вестник Арктики. – 2023. – № 15. – С. 15-23. – DOI 10.52978/25421220_2023_15_15-23. – EDN ANVSXY.
2. Майоров, А. В. Применение гидротехнического бетона в строительстве / А. В. Майоров, Д. Е. Мандрико // Академическая публицистика. – 2019. – № 12. – С. 68-71. – EDN QXOYMO.
3. Тяжелый бетон для гидротехнических сооружений / М. Э. Вороненко, А. А. Скибина, Е. В. Егорова [и др.] // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – № 1(153). – С. 49-54. – EDN HQFMVH.
4. Шилин, А. А. Эрозия бетона гидротехнических сооружений / А. А. Шилин // Гидротехника. – 2021. – № 2(63). – С. 84-87. – EDN FRBIBU.
5. Федюк, Р. С. Вопросы проектирования гидротехнических бетонов / Р. С. Федюк, Д. Н. Пезин, Е. А. Попов // Природоподобные технологии строительных композитов для защиты среды обитания человека : II Международный онлайн-конгресс, посвященный 30-летию кафедры Строительного материаловедения, изделий и конструкций, Белгород, 04–05 декабря 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 490-494. – EDN BOUZO.
6. Шалый, Е. Е. Деграция железобетонных конструкций морских сооружений от совместного воздействия карбонизации и хлоридной агрессии / Е. Е. Шалый, С. Н. Леонович, Л. В. Ким // Строительные материалы. – 2019. – № 5. – С. 67. – DOI 10.31659/0585-430X-2019-770-5-67-72. – EDN VOWAFY.
7. Шалый, Е. Е. Деграция железобетонных конструкций морских сооружений от совместного воздействия карбонизации и хлоридной агрессии / Е. Е. Шалый, С. Н. Леонович, Л. В. Ким // Строительные материалы. – 2019. – № 5. – С. 67. – DOI 10.31659/0585-430X-2019-770-5-67-72. – EDN VOWAFY.
8. Пепеляева, А. Ю. Коррозионностойкие цементы для гидротехнического строительства / А. Ю. Пепеляева, Т. С. Никопорова // Студенческая наука: современные реалии : Сборник материалов VII Международной студенческой научно-практической конференции, Чебоксары, 17 мая 2019 года. – Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс", 2019. – С. 52-54. – EDN XAQFDR.
9. Кондратьева Н.В., Алфименкова А.Ю. Исследование способов повышения коррозионной стойкости железобетонных конструкций. Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10. №1(38). С. 16-23. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.3.

3. Introduction of polymer modifier in the amount of 0.6 % in cement dough promotes the increase of heat release in comparison with the control composition.

4. Polymer additive based on polyvinylpyrrolidone slows down the hydration of Portland cement, which is confirmed by the data of X-ray phase analysis, but the introduction of polymer additive in the cement dough contributes to an increase in compressive strength at the age of 2 and 28 days.

5. Modification of the structure by polymer additive based on polyvinylpyrrolidone promotes the formation of cement stone structure with dense uniform structure and less porosity.

6. The results show that polymer additive based on polyvinylpyrrolidone can be used to modify the structure of cement stone and concrete.

References:

1. Timofeeva, E. S. Specifics of the use of hydraulic concrete in construction / E. S. Timofeeva, M. A. Elesin // *Scientific Bulletin of the Arctic*. - 2023. - № 15. - С. 15-23. - DOI 10.52978/25421220_2023_15_15-23. - EDN ANVSXY. (in Russian).
2. Mayorov, A. V. Application of hydraulic concrete in construction / A. V. Mayorov, D. E. Mandrico // *Academic publishing*. - 2019. - № 12. - С. 68-71. - EDN QXOYMO. (in Russian).
3. Heavy concrete for hydraulic structures / M. E. Voronenko, A. A. Skibina, E. V. Egorova [et al.] // *Bulletin of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. - 2022. - № 1(153). - С. 49-54. - EDN HQFMVH. (in Russian).
4. Shilin, A. A. Erosion of concrete of hydraulic structures / A. A. Shilin // *Hydrotechnics*. - 2021. - № 2(63). - С. 84-87. - EDN FRBIBU. (in Russian).
5. Fedyuk, R. S. Design issues of hydraulic concrete / R. S. Fedyuk, D. N. Pezin, E. A. Popov // Nature-like technologies of construction composites for the protection of human environment: II International Online Congress dedicated to the 30th anniversary of the Department of Construction Materials Science, Products and Structures, Belgorod, December 04-05, 2019. - Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. V.G. Shukhov, 2019. - С. 490-494. - EDN BOUZO. (in Russian).
6. Shalyi, E. E. Degradation of reinforced concrete structures of marine structures from the combined effect of carbonization and chloride aggression / E. E. Shalyi, S. N. Leonovich, L. V. Kim // *Construction Materials*. - 2019. - № 5. - С. 67. - DOI 10.31659/0585-430X-2019-770-5-67-72. - EDN VOWAFY. (in Russian).
7. Shalyi, E. E. Degradation of reinforced concrete structures of marine structures from the combined effect of carbonization and chloride aggression / E. E. Shalyi, S. N. Leonovich, L. V. Kim // *Stroitelnye materialy*. - 2019. - № 5. - С. 67. - DOI 10.31659/0585-430X-2019-770-5-67-72. - EDN VOWAFY. (in Russian).
8. Pepelyaeva, A. Yu. Corrosion-resistant cements for hydraulic engineering construction / A. Yu. Pepelyaeva, T. S. Nikopорова // Student Science: modern realities : Proceedings of the VII International Student Scientific and Practical Conference, Cheboksary, May 17, 2019. - Cheboksary: Limited Liability Company "Center for Scientific Cooperation 'Interactive Plus', 2019. - С. 52-54. - EDN XAQFDR. (in Russian).
9. Kondratyeva N.V., Alfimenkova A.Yu. Investigation of ways to increase the corrosion resistance of reinforced concrete

10. Патлай, К. И. Роль защитного слоя бетона в обеспечении коррозионной стойкости железобетонных конструкций морских гидротехнических сооружений / К. И. Патлай, В. Г. Цуприк // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2023. – № 2(55). – С. 86-101. – DOI 10.24866/2227-6858/2023-2/86-101. – EDN MJCLKV.
11. Анискин Н.А., Шайтанов А.М. Строительство, конструкции и инновации плотин из малоцементного бетона // Вестник МГСУ. 2020. № 7. С. 1018-1029.
12. Оптимизация состава гидротехнического бетона с применением композиционных вяжущих / С. А. Лхасаранов, Л. А. Урханова, А. А. Иванов, С. С. Культиков // Техника и технология силикатов. – 2023. – Т. 30, № 4. – С. 350-355. – EDN HZFDTY.
13. Сузев, Н. А. Оптимизация состава бетона с использованием пластифицирующих добавок для ремонтных работ гидротехнических сооружений / Н. А. Сузев, Б. Т. Копжасаров, З. Ю. Култаев // Вестник науки Южного Казахстана. – 2021. – № 4(16). – С. 30-39. – EDN BGKWR A.
14. Влияние водовязущего отношения и комплексной органоминеральной добавки на свойства бетона для морских гидротехнических сооружений / Т. В. Лам, Н. С. Хунг, В. К. Зие [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 3. – С. 11-21. – DOI 10.33622/0869-7019.2019.03.11-21. – EDN ZAHMDZ.
15. Влияние комплексной органоминеральной добавки на деформацию гидротехнических бетонов / Т. В. Лам, С. Х. Нго, В. К. Зие, Б. И. Булгаков // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2019. – № 4(79). – С. 7-19. – DOI 10.18720/CUBS.79.1. – EDN FBJSTN.
16. Sharafutdinov, K., Saraykina, K., Kashevarova, G., Sanyagina, Y., Erofeev, V., & Vatin, N. (2023). STRENGTH AND DURABILITY OF CONCRETES WITH A SUPER ABSORBENT POLYMER ADDITIVE. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 19(2), 120–135. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2023-19-2-120-135>
17. Ларсен, О. А. Пуццолановая активность минеральных добавок для гидротехнических бетонов / О. А. Ларсен, В. В. Наруть, А. М. Бахрах // Техника и технология силикатов. – 2022. – Т. 29, № 3. – С. 250-260. – EDN UYAEEO.
18. Исследование влияния тонкодисперсных добавок на свойства композиционных вяжущих для гидротехнического бетона / А. А. Иванов, Л. А. Урханова, С. А. Лхасаранов, П. К. Хардаев // Вестник ВСГУТУ. – 2023. – № 2(89). – С. 80-88. – DOI 10.53980/24131997_2023_2_80. – EDN GSEQGB.
19. Тоболев, П. Д. Разработка состава бетона для облицовки гидротехнических сооружений / П. Д. Тоболев // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2023. – № 7(1067). – С. 54-56. – EDN KBDGVM.
20. Изучение физико-механических свойств бетона, преобразованного полимерной добавкой Амкор для использования в гидротехническом строительстве / М. В. Кацурба, А. Д. Егорова, А. Макаров [и др.] // Аммосов-2021: Сборник материалов научно-практической конференции студентов СВФУ, Якутск, 12 апреля 2021 года. – Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2021. – С. 842-846. – EDN LKILWT.
21. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Гоглев И.Н., Касыяненко Н.С. Ингибирование коррозии бетонного композита комбинированной добавкой нитрита натрия и силиката натрия. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 8. С. 57-62. EDN: TSGOCV
22. Поляков И.В., Баранников М.В., Степанова Е.А. Добавки для тяжелого бетона на основе техногенных отходов химических производств. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 4. С. 104-109. DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6330 EDN: ZWFJOK
23. Демьяненко О. В., Куликова А. А., Копаница Н. О, Петров. А. Г. Влияние комплексных модифицирующих добавок на эксплуатационные свойства тяжелого бетона. *Известия высших структур. Urban Planning and Architecture*. 2020. Т. 10. №1(38). С. 16-23. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.3. (in Russian).
10. Patlai, K. I. The role of concrete protective layer in providing corrosion resistance of reinforced concrete structures of marine hydraulic structures / K. I. Patlai, V. G. Tsuprik // *Bulletin of Engineering School of Far Eastern Federal University*. – 2023. – № 2(55). – С. 86-101. – DOI 10.24866/2227-6858/2023-2/86-101. – EDN MJCLKV. (in Russian).
11. Aniskin, N.A.; Shaitanov, A.M. Construction, designs and innovations of dams from low-cement concrete // *MSCU Vestnik*. 2020. № 7. С. 1018-1029. (in Russian).
12. Optimization of the composition of hydraulic concrete with the use of composite binders / S. A. Lkhasaranov, L. A. Urkhanova, A. A. Ivanov, S. S. Kultikov // *Technique and technology of silicates*. – 2023. – Т. 30, № 4. – С. 350-355. – EDN HZFDTY. (in Russian).
13. Suzev, N. A. Optimization of concrete composition using plasticizing additives for repair works of hydraulic structures / N. A. Suzev, B. T. Kopzhasarov, Z. Y. Kultraev // *Bulletin of Science of South Kazakhstan*. – 2021. – № 4(16). – С. 30-39. – EDN BGKWR A.
14. Effect of water-binding ratio and complex organomineral admixture on the properties of concrete for marine hydraulic structures / T. V. Lam, N. S. Hung, V. K. Zien [et al.] // *Industrial and Civil Engineering*. – 2019. – № 3. – С. 11-21. – DOI 10.33622/0869-7019.2019.03.11-21. – EDN ZAHMDZ. (in Russian).
15. Effect of complex organic-mineral additive on the deformation of hydraulic concrete / T. V. Lam, S. H. Ngo, V. K. Zien, B. I. Bulgakov // *Construction of unique buildings and structures*. – 2019. – № 4(79). – С. 7-19. – DOI 10.18720/CUBS.79.1. – EDN FBJSTN. (in Russian).
16. Sharafutdinov, K., Saraykina, K., Kashevarova, G., Sanyagina, Y., Erofeev, V., & Vatin, N. (2023). STRENGTH AND DURABILITY OF CONCRETES WITH A SUPER ABSORBENT POLYMER ADDITIVE. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 19(2), 120–135. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2023-19-2-120-135>
17. Larsen, O. A. Pozzolanic activity of mineral additives for hydraulic concrete / O. A. Larsen, V. V. Narut, A. M. Bakhrakh // *Technique and technology of silicates*. – 2022. – Т. 29, № 3. – С. 250-260. – EDN UYAEEO.
18. Investigation of the influence of fine additives on the properties of composite binders for hydraulic concrete / A. A. Ivanov, L. A. Urkhanova, S. A. Lkhasaranov, P. K. Hardaev // *Vestnik VSGUTU*. – 2023. – № 2(89). – С. 80-88. – DOI 10.53980/24131997_2023_2_80. – EDN GSEQGB. (in Russian).
19. Tobolev, P. D. Development of the concrete composition for the lining of hydraulic structures / P. D. Tobolev // *BST: Bulletin of Construction Engineering*. – 2023. – № 7(1067). – С. 54-56. – EDN KBDGVM. (in Russian).
20. Study of physical and mechanical properties of concrete transformed by polymer additive Amokor for use in hydraulic engineering construction / M. V. Katsurba, A. D. Egorova, A. Makarov [et al.] // *Ammosov-2021: Proceedings of the scientific and practical conference of students of the North-Eastern Federal University, Yakutsk, April 12, 2021*. – Yakutsk: North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 2021. – С. 842-846. – EDN LKILWT. (in Russian).
21. Rumyantseva V.E., Konvalova V.S., Goglev I.N., Kasyanenko N.S. Inhibition of concrete composite corrosion by combined addition of sodium nitrite and sodium silicate. *Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology*. 2021. Т. 64. Vyp. 8. С. 57-62. EDN: TSGOCV(in Russian).
22. Polyakov I.V., Barannikov M.V., Stepanova E.A. Additives for heavy concrete on the basis of technogenic wastes of chemical industries. *Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology*. 2021. Т. 64. Vyp. 4. С. 104-109. DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6330 EDN: ZWFJOK (in Russian).

- учебных заведений. Строительство. 2021. № 5(749). С. 23-32. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-749-5-23-32 EDN: HMIFNT
24. Низина Т.А., Бальков А.С., Коровкин Д.И. Оценка физико-химической эффективности минеральных добавок различного состава в цементных системах. Эксперт: теория и практика. 2021. № 5(14). С. 41-47. DOI: 10.51608/26867818_2021_5_41 EDN: EXPXRE
25. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы // Строительные материалы. – 2016. – № 10. – С.4-7
26. Чекнаворян А.А. Целостный взгляд на роль добавок к бетону, обеспечивающих прочность железобетонных сооружений. ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2020. № 4(61). С. 26-35. EDN: ZXUBAG
27. Каприелов С.С. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов. Строительные материалы. 2017. № 11. С. 4-10. EDN: ZWUFVB
28. Бамборин, М. Ю. Исследование влияния полимерных суперпластифицирующих добавок на водопоглощение и сульфатную коррозию бетонов / М. Ю. Бамборин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № S1. – С. 27-40. – DOI 10.25018/0236_1493_2024_1_1_27. – EDN YGHKGH.
29. Особенности формирования структуры крупнопористых бетонов на комбинированных минеральных заполнителях с полимерными добавками / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, Е. Г. Пименов, М. А. Пичугин // Полимеры в строительстве: научный интернет-журнал. – 2019. – № 1(7). – С. 58-64. – EDN LUTHJC.
30. Ластовская, А. В. Стойкость строительных конструкции на основе бетонов с полимерными добавками к сульфатной коррозии / А. В. Ластовская, Л. М. Парфенова, Р. Сати // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2019. – № 8. – С. 87-92. – EDN GTLVOZ.
31. Бамборин, М. Ю. Исследование влияния полимерных суперпластифицирующих добавок на прочностные свойства бетонов различных классов / М. Ю. Бамборин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № S1. – С. 3-14. – DOI 10.25018/0236_1493_2024_1_1_3. – EDN APWZWI.
32. Применение полимерных дисперсий в комплексных добавках для тяжелого бетона / М. В. Баранников, И. В. Поляков, В. С. Поляков [и др.] // Российский химический журнал. – 2022. – Т. 66, № 2. – С. 33-38. – DOI 10.6060/rcj.2022662.6. – EDN PXXXQO.
23. Demyanenko O. V. V., Kulikova A. A., Kopanitsa N. O., Petrov. A. G. Influence of complex modifying additives on operational properties of heavy concrete. *Izvestiya vysshee obrazovaniya vysshee obrazovaniya. Construction*. 2021. № 5(749). С. 23-32. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-749-5-23-32 EDN: HMIFNT (in Russian).
24. Nizina T.A., Balykov A.S., Korovkin D.I. Estimation of physico-chemical efficiency of mineral additives of different composition in cement systems. *Expert: theory and practice*. 2021. № 5(14). С. 41-47. DOI: 10.51608/26867818_2021_5_41 EDN: EXPXRE (in Russian).
25. Batrakov V.G. Concrete modifiers: new opportunities and prospects // *Stroitelnye materialy*. - 2016. - № 10. - С.4-7(in Russian).
26. Cheknavoriyan A.A. Integral view on the role of concrete additives ensuring the strength of reinforced concrete structures. *ALITinform: Cement. Concrete. Dry mixes*. 2020. № 4(61). С. 26-35. EDN: ZXUBAG (in Russian).
27. Kapriellov S.S. Cements and additives for production of high-strength concrete. *Stroitelnye materialy*. 2017. № 11. С. 4-10. EDN: ZWUFVB (in Russian).
28. Bamborin, M. Yu. Investigation of the effect of polymeric superplasticizing additives on water absorption and sulfate corrosion of concrete / M. Yu. Bamborin // *Mining information and analytical bulletin* (scientific and technical journal). - 2024. - № S1. - С. 27-40. - DOI 10.25018/0236_1493_2024_1_1_27. - EDN YGHKGH. (in Russian).
29. Features of structure formation of large-porous concrete on combined mineral aggregates with polymer additives / A. P. Pichugin, V. F. Khritanov, E. G. Pimenov, M. A. Pichugin // *Polymers in construction: scientific online journal*. - 2019. - № 1(7). - С. 58-64. - EDN LUTHJC. (in Russian).
30. Lastovskaya, A. V. Resistance of building structures based on concrete with polymer additives to sulfate corrosion / A. V. Lastovskaya, L. M. Parfenova, R. Sati // *Bulletin of Polotsk State University. Series F. Construction. Applied sciences*. - 2019. - № 8. - С. 87-92. - EDN GTLVOZ. (in Russian).
31. Bamborin, M. Yu. Investigation of the effect of polymeric superplasticizing additives on the strength properties of concrete of different classes / M. Yu. Bamborin // *Mining information and analytical bulletin* (scientific and technical journal). - 2024. - № S1. - С. 3-14. - DOI 10.25018/0236_1493_2024_1_1_3. - EDN APWZWI. (in Russian).
32. Application of polymer dispersions in complex additives for heavy concrete / M. V. Barannikov, I. V. Polyakov, V. S. Polyakov [et al.] // *Russian Chemical Journal*. - 2022. - Т. 66, № 2. - С. 33-38. - DOI 10.6060/rcj.2022662.6. - EDN PXXXQO. (in Russian).

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».

Самченко Светлана Васильевна – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»), E-mail: samchenko@list.ru

Тоболев Павел Дмитриевич – аспирант кафедры строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»), E-mail: toboleff@yandex.ru (автор для связи)

Вклад авторов: Самченко С.В. - идея, научное руководство, научное редактирование статьи; Тоболев П.Д. – разработка методик, обработка материала, написание статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Samchenko Sviatlana Vasilevna – Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of building materials science, National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), E-mail: samchenko@list.ru

Tobolev Pavel Dmitrievich – Postgraduate student, Department of building materials science, National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), E-mail: toboleff@yandex.ru (author for contact)

Contribution of the author: Samchenko S.V.- idea, scientific guidance, scientific editing of the article; Tobolev P.D. - development of methods, material processing, writing of the article.

The authors declare that there is no conflict of interest.