

УДК 691.335; 666.914

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 67.09.31

Научная специальность ВАК: 2.1.05 Строительные материалы и изделия

EDN ktyhwz

DOI 10.62980/2076-0655-2024-354-364

СВОЙСТВА ГИПСОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Ларсен А.О.¹, Марков Ю.И.¹, Василькин А.А.¹

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена возможность применения заполнителя на основе отходов переработанных автомобильных шин в гипсобетонных композитах. Исследованы технологические, физико-механические, теплотехнические и акустические свойства композита с содержанием легкого заполнителя 5, 10 и 20 %. Представлены данные для двух видов резиновой крошки: фракции 0,8 и 0,6 мм. Установлено, что при введении в легкого заполнителя фракции 0,6 мм снижает подвижность смеси 10,8, 21,6 и 45,9 % соответственно, а заполнитель фракции 0,6 мм на 8,1, 29,7 и 40,5 %; при введении резиновой крошки фракции 0,6 снижается прочность при сжатии на 30, 38 и 55 %, при введении легкого заполнителя фракции 0,8 мм прочность снижается на 27, 36 и 56 % соответственно; плотность гипсобетона с заполнителем фракции 0,8 мм снижается до 1190 кг/м³, а с фракцией 0,6 мм до 1170 кг/м³; теплопроводность композита снижается на 20% при введении 20 % резиновой крошки фракции 0,6 мм, а фракции 0,8 мм на 14 %; повышаются акустические свойства, эффективность звукопоглощения гипсобетона без заполнителя составила 5,2 – 39,6 %, с легким заполнителем фракции 0,6 мм и содержанием 20 % составило 6,5 – 47,6 %, а фракции 0,8 мм 7,9 – 50,4 %. Разработанный состав может выступать в качестве исходного для производства пазогребневых плит, гипсокартонных листов и других подобных изделиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: резиновая крошка, резина, вторичное сырье, звукопоглощение, гипсовый композит

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ларсен О.А., Марков Ю.И., Василькин А.А. Исследование свойств гипсовых композитов с использованием отходов переработки автомобильных шин // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, № 4. – С. 354-364, DOI 10.62980/2076-0655-2024-354-364, EDN ktyhwz

Type of article - scientific article

OECD 2.01 Civil engineering

FA CONSTRUCTION & BUILDING TECHNOLOGY

EDN ktyhwz

DOI 10.62980/2076-0655-2024-354-364

PROPERTIES OF GYPSUM COMPOSITES USING AGGREGATE FROM AUTOMOBILE TIRE RECYCLING WASTE

Larsen O.A.¹, Markov Y.I.¹, Vasilkin A.A.¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering

ABSTRACT

The possibility of application of aggregate on the basis of waste recycled car tyres in gypsum-concrete composites is considered. Technological, physical-mechanical, thermal and acoustic properties of the composite with the content of lightweight aggregate 5, 10 and 20 % are investigated. The data for two types of rubber crumb: 0.8- and 0.6-mm fractions are presented. It was found that the introduction of lightweight aggregate of 0.6 mm fraction reduces the mobility of the mixture by 10.8, 21.6 and 45.9 %, respectively, and the aggregate of 0.6 mm fraction by 8.1, 29.7 and 40.5 %; the introduction of rubber crumb of 0.6 fraction reduces the compressive strength by 30, 38 and 55 %, the introduction of lightweight aggregate of 0.8 mm fraction reduces the strength by 27, 36 and 56 %, respectively; density of gypsum concrete with 0,8 mm fraction aggregate decreases up to 1190 kg/m³, and with 0,6 mm fraction up to 1170 kg/m³; thermal conductivity of the composite decreases by 20 % at introduction of 20 % of rubber crumb of 0,6 mm fraction, and 0,8 mm fraction by 14 %; acoustic properties increase, the efficiency of sound absorption of gypsum concrete without filler was 5,2 - 39,6 %, with light filler of 0,6 mm fraction and 20 % content was 6,5 - 47,6 %, and 0,8 mm fraction was 7,9 - 50,4 %. The developed composition can be used as an initial composition for production of gypsum board, gypsum plasterboard sheets and other similar products.

KEY WORDS: crumb rubber, rubber, secondary raw materials, sound absorption, gypsum composite.

FOR CITATION: Larsen O.A., Markov Y.I., Vasilkin A.A. Properties of gypsum composites using aggregate from automobile tire recycling waste // Technique and technology of silicates. – 2024. Vol. – 31, No4. – Pp. 354 – 364, DOI 10.62980/2076-0655-2024-354-364, EDN ktyhwz

ВВЕДЕНИЕ

Количество легковых автомобилей в 2006 году составляло 25 млн. единиц, за период в 10 лет это значение выросло до 43 млн. единиц [1]. В связи с постоянным увеличением числа автомобилей, нарастает и объем образующихся в следствии эксплуатации отходов, таких как автомобильные шины. В 2000 году общий вес изношенных шин в РФ составил 1 млн. тонн и с каждым годом этот объем увеличивается. При таком большом поступлении, перерабатывается не более 150 тыс. тонн резинотехнических изделий в год, на момент 2009 года было переработано 137,3 тыс. тонн автомобильных шин, что составило 15 % от общего числа отходов [2].

К отходам, подлежащим вторичному использованию, относятся автомобильные шины. Он относится к вредным отходам по нескольким причинам: во-первых, резина не подвержена биологическому разложению, во-вторых, огнеопасна, хоть она и не относится к легковоспламеняющимся материалам, но при возгорании погасить пламя становится практически невыполнимой задачей [3]. Вышедшие из эксплуатации резинотехнические изделия (РТИ) служат источником загрязнения окружающей среды на долгое время: шины не подвергаются биологическому разложению; они огнеопасны и, в случае возгорания, погасить их достаточно сложно; при складировании они являются идеальным местом размножения грызунов, кровососущих насекомых и служат источником инфекционных заболеваний [4, 5]. В процессе переработки автомобильных шин помимо резиновой крошки образуется тканевых корд, который в дальнейшем применяется в качестве армирующей фибры в бетонах. Согласно исследованиям [6, 7] введение фибры из тканевого корда снижает плотность и повышает прочность бетона класса В30.

На данный момент активно применяются и другие вторичные материалы, например, пеностекло, вторичный щебень и песок и т. д. Пеностекло долговечный негорючий материал, обладающий низкой теплопроводностью, высоким звукопоглощением, но низкой прочностью и высокой стоимостью [8, 9]. Он применяется в легких бетонах в качестве заполнителя и в качестве теплоизоляционной засыпки крыш, а из пеностекольных блоков можно возводить самонесущие конструкции. Вторичный щебень, образуется во время утилизации строительных отходов [10]. Этот материал обладает всеми свойствами обычного щебня. Благодаря тому, что это побочный материал, получаемый в результате сноса зданий, его стоимость значительно ниже классического щебня. Применение заполнителя из такого щебня позволяет снизить стоимость бетона. Использование вторичных материалов снижает экологическое загрязнение мест складирования отходов и позволяет расширить сырьевую базу новыми строительными материалами. Зачастую их применение приводит к уменьшению стоимости изделий, либо повышению эксплуатационных характеристик материала.

Увеличение объема переработанных РТИ снизит влияние на экологическую обстановку районов складирования и при этом позволит снизить стоимость композитов с введенной резиновой крошкой. Она обладает низкой плотностью, около 900 кг/м^3 , и низкой теплопроводностью, около $0,2 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$, что позволит использовать такой легкий заполнитель в материалах для

INTRODUCTION

The number of passenger cars in 2006 was 25 million units, and over a 10-year period this value has increased to 43 million units [1]. Due to the constant increase in the number of cars, the amount of waste generated as a result of operation, such as car tyres, is also increasing. In 2000, the total weight of worn tyres in the Russian Federation was 1 million tonnes and this volume is increasing every year. With such a large input, no more than 150 thousand tonnes of rubber products are recycled per year, at the time of 2009, 137.3 thousand tonnes of car tyres were recycled, which was 15% of the total waste [2].

Recyclable waste includes car tyres. It is classified as hazardous waste for several reasons: firstly, rubber is not biodegradable; secondly, it is flammable, although it does not belong to the flammable materials, but when ignited, extinguishing the flame becomes an almost impossible task [3]. Decommissioned rubber products (RTI) serve as a source of environmental pollution for a long time: tyres are not biodegradable; they are flammable and, in case of fire, it is difficult to extinguish them; when stored, they are an ideal breeding ground for rodents, bloodsucking insects and serve as a source of infectious diseases [4, 5]. In the process of recycling car tyres, in addition to crumb rubber, fabric cord is formed, which is further used as a reinforcing fibre in concrete. According to studies [6, 7], the introduction of fibre from fabric cord reduces the density and increases the strength of concrete of class B30.

At present, other recycled materials are also actively used, such as foam glass, recycled crushed stone and sand, etc. Foam glass is a durable non-combustible material with low thermal conductivity, high sound absorption, but low strength and high cost [8, 9]. It is used in lightweight concrete as an aggregate and as thermal insulation backfill for roofs, and self-supporting structures can be erected from foam glass blocks. Secondary crushed stone is formed during the utilisation of construction waste [10]. This material has all the properties of ordinary crushed stone. Due to the fact that it is a by-product material obtained as a result of demolition of buildings, its cost is much lower than classic crushed stone. The use of aggregate made of such crushed stone reduces the cost of concrete. The use of secondary materials reduces environmental pollution of waste storage sites and allows to expand the raw material base with new construction materials. Often their use leads to a reduction in the cost of products or an increase in the performance characteristics of the material.

Increasing the volume of recycled RTI will reduce the impact on the ecological situation of the storage areas and at the same time reduce the cost of composites with introduced crumb rubber. It has low density, about 900 kg/m^3 , and low thermal conductivity, about $0.2 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$, which will allow the use of such a lightweight aggregate in materials for building envelopes, for example, interior partitions or finishing materials such as plasterboard and gypsum board, as these building products do not require high strength but should have low thermal conductivity, density and high sound absorption. Rubber crumb should not reduce the strength below the permissible limit according to the requirements of regulatory documentation, but also increase the acoustic and thermal insulation characteristics.

ограждающих конструкций, например, межкомнатных перегородках или отделочных материалах таких как гипсокартон и пазогребневые плиты, так как эти строительные изделия не требуют высокой прочности при этом должны иметь низкую теплопроводность, плотность и высокое звукопоглощение. Резиновая крошка не должна снижать прочность ниже допустимого предела по требованиям нормативной документации, но и повысить акустические и теплоизоляционные характеристики.

В настоящее время в России резиновая крошка применяется в дорожном строительстве. Основная часть исследований свойств композитов с наполнителем из резиновой крошки рассматривается в дорожных асфальтобетонах, где такой наполнитель работает в качестве демфирующего материала, улучшающего объемные свойства смеси [11]. По данным исследования [12] было установлено, что резиновая крошка влияет на звукопоглощение асфальтобетона только косвенно, посредством улучшения других свойств. В исследовании [12] выявлено, что резиновая крошка из автомобильных шин, нанесенная на несущий слой, снижает уровень шума с 68,0 дБ до 45,2 дБ. Проведенное исследование затрагивало область применения резиновой крошки в качестве облицовочного материала, а область применения резиновой крошки может быть расширена. Перспективно применение легкого наполнителя на основе отходов переработки РТИ для создания акустических изделий. В работе [13] рассматриваются изделия с применением составов на цементном вяжущем с частичным замещением наполнителя резиновой крошкой. При этом коэффициент звукопоглощения эталонного образца составил 0,22 – 0,37, а образца с содержанием резиновой крошки в среднем составил — 0,6 – 0,7.

Область применения легкого наполнителя на основе РТИ может быть расширена для получения составов, которые в дальнейшем могут применяться для изготовления пазогребневых плит, гипсокартона, пеноблоков, основной проблемой которых, является низкое звукопоглощение. По имеющимся данным, для достижения удовлетворительных показателей звукопоглощения, требуется дополнительная отделка пазогребневых плит гипсокартонными листами с двух сторон. Перегородка из пазогребневых плит в один слой с одним слоем гипсокартонных листов имеет индекс звукопоглощения 44 дБ, а с двумя слоями ГКЛ составляет 46 дБ, при таких значениях шум от речи в соседней комнате практически не понимаем [14, 15]. Из-за низкого звукопоглощения пазогребневые плиты не пользуются популярностью, что вызывает необходимость их дальнейшей замены. Для повышения акустических свойств материалов на гипсовых вяжущих необходимо снижать их плотность вводя в состав воздухововлекающие или пенообразующие добавки, применять легкие наполнители, такие, как древесные опилки, керамзит, костра и т.д. [16].

Основным недостатком введения резиновой крошки является низкая адгезия к минеральному вяжущему, и как следствие, снижается прочность при сжатии и изгибе. Согласно исследованиям [17], прочность при сжатии снижается на 94 % при 100 % замещения наполнителя в бетонах. При этом зависимость снижения прочности от содержания резиновой крошки имеет линейный характер. Эти данные подтверждаются другими исследованиями, где прочность снижается на 85 % при полной

At present in Russia rubber crumb is used in road construction. The main part of research on the properties of composites with rubber crumb aggregate is considered in road asphalt concretes, where such aggregate works as a damping material that improves the volumetric properties of the mixture [11]. According to study [12], it was found that crumb rubber affects the sound absorption of asphalt concrete only indirectly by improving other properties. Study [12] found that crumb rubber from car tyres applied to the bearing course reduced the noise level from 68.0 dB to 45.2 dB. The conducted study touched upon the area of application of crumb rubber as a facing material, and the area of application of crumb rubber can be extended. The application of lightweight aggregate on the basis of waste recycling of RТИ for the creation of acoustic products is promising. The work [13] considers products with the use of cement binder compositions with partial replacement of the aggregate with rubber crumb. In this case, the sound absorption coefficient of the reference sample was 0.22 - 0.37, and the sample with rubber crumb content averaged 0.6 - 0.7.

The field of application of lightweight aggregate on the basis of RТИ can be extended to obtain compositions that can be further used for the manufacture of gypsum board, gypsum board, foam blocks, the main problem of which is low sound absorption. According to available data, in order to achieve satisfactory sound absorption performance, it is necessary to finish gypsum board with gypsum plasterboard sheets on both sides. A partition made of groove boards in one layer with one layer of gypsum plasterboard sheets has a sound absorption index of 44 dB, and with two layers of GKL is 46 dB, with such values, the noise from speech in the neighbouring room is almost unintelligible [14, 15]. Due to low sound absorption, tongue and groove boards are not popular, which causes the need for their further replacement. To increase the acoustic properties of materials based on gypsum binders it is necessary to reduce their density by introducing air-involving or foam-forming additives into the composition, to use lightweight aggregates such as sawdust, expanded clay, firewood, etc. [16].

The main disadvantage of the introduction of crumb rubber is low adhesion to mineral binder, and as a consequence, the compressive and flexural strength is reduced. According to studies [17], compressive strength is reduced by 94 % at 100 % of aggregate replacement in concrete. At the same time, the dependence of strength reduction on the content of crumb rubber has a linear character. These data are confirmed by other studies, where the strength is reduced by 85 % at full replacement of aggregate. There are ways to increase adhesion to mineral matrix one of them is treatment with alkali solution. According to [18] treatment of rubber crumb surface with NaOH solution increases the compressive strength relative to the sample without preliminary preparation by about 7 %. One of the ways to increase adhesion is the joint grinding of cement and light aggregate, where the strength increase was about 25 % with the introduction of 15 % of treated crumb rubber [18].

Based on the above, it can be concluded that the use of crumb rubber in gypsum composites will be appropriate due to the fact that its introduction contributes to the improvement of acoustic properties. Studies on the use of lightweight aggregate made of crumb rubber in gypsum binders are

замене заполнителя. Существуют способы повышения адгезии к минеральной матрице одним из них является обработка раствором щелочи. По данным [18] обработка поверхности резиновой крошки раствором NaOH повышает прочность при сжатии относительно образца без предварительной подготовки примерно на 7 %. Одним из способов повышения адгезии является совместный помол цемента и легкого заполнителя, при котором прирост прочности составил примерно на 25 % при введении 15 % обработанной резиновой крошки [18].

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что применение резиновой крошки в составе гипсовых композитов будет целесообразным ввиду того, что ее введение способствует улучшению акустических свойств. Исследования применения легкого заполнителя из резиновой крошки в гипсовых вяжущих ограничено. Поэтому получение данных о влиянии такого легкого заполнителя на свойства будет представлять научную новизну.

В исследовании рассмотрено влияние размера фракции резиновой крошки и ее содержание в композите на технологические, физико-механические, теплотехнические и акустические свойства.

Цель исследования: исследование свойств гипсобетона с легким заполнителем из отходов переработки резиновой крошки разных фракций с различным содержанием.

Материалы и методы исследования

В работе применялись следующие материалы:

- высокопрочный гипс марки Г-16 со свойствами, указанными в таблице 1:

- резиновая крошка фр. 0,6 мм и 0,8 мм производства ООО «Дмитровский завод РТИ». Зерновой состав резиновой крошки представлен на рисунках 1 и 2.

Определение теплопроводности производили при помощи анализатора тепловых констант Hot Disc 1500 нестационарным методом плоского источника.

limited. Therefore, obtaining data on the effect of such lightweight aggregate on properties will be of scientific novelty.

The study considers the influence of rubber crumb fraction size and its content in the composite on technological, physical-mechanical, thermal and acoustic properties.

The purpose of the study: research of properties of gypsum concrete with lightweight aggregate from waste rubber crumb processing of different fractions with different content.

Materials and methods of research

The following materials were used in the work:

- high-strength gypsum of G-16 grade with properties specified in Table 1:

- 0.6 mm and 0.8 mm crumb rubber produced by Dmitrovsky RTI Plant. The grain composition of rubber crumb is shown in Figures 1 and 2.

Thermal conductivity was determined using a Hot Disc 1500 thermal constant analyser using the unsteady flat source method.

ТАБЛИЦА 1. СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО МАРКИ Г-16
Table 1. PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH GYPSUM BINDER GRADE G-16

№	Наименование показателя Name of indicator	Единица измерения Unit of measurement	Фактическое значение Actual value
1	Степень помола, остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм Grinding degree, residue on a sieve with mesh size 0.2 mm in light	%	≤ 1
2	Предел прочности образцов-балочек в возрасте 2-х часов Tensile strength of beam specimens at the age of 2 hours	МПа MPa	≥ 6
3	Время начала схватывания Initial setting time	Мин min	≥ 6
4	Время окончания схватывания End of setting time	Мин min	≤ 30
5	Содержание примесей металлов в 1 кг вяжущего Metal impurities content in 1 kg of binder	мг mg	≤ 6

РИСУНОК 1

ЗЕРНОВОЙ СОСТАВ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ фр. 0,8 мм
ООО «Дмитровский завод РТИ»

Figure 1

The grain composition of rubber crumb of 0.8 mm particle size Dmitrovsky RTI Plant

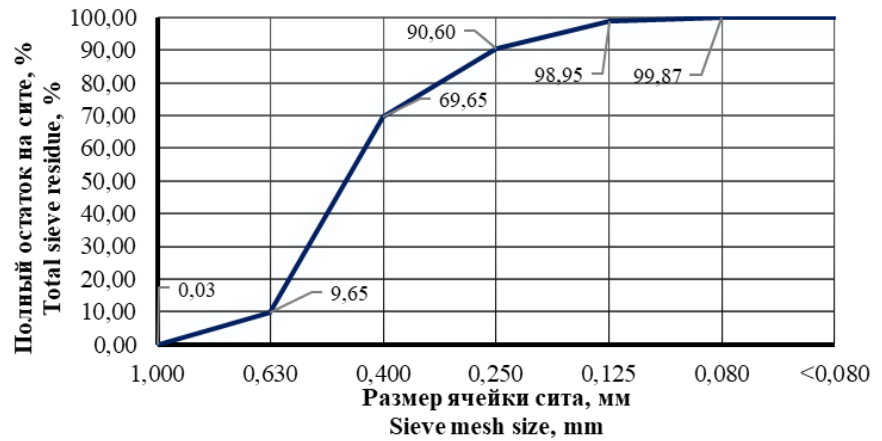
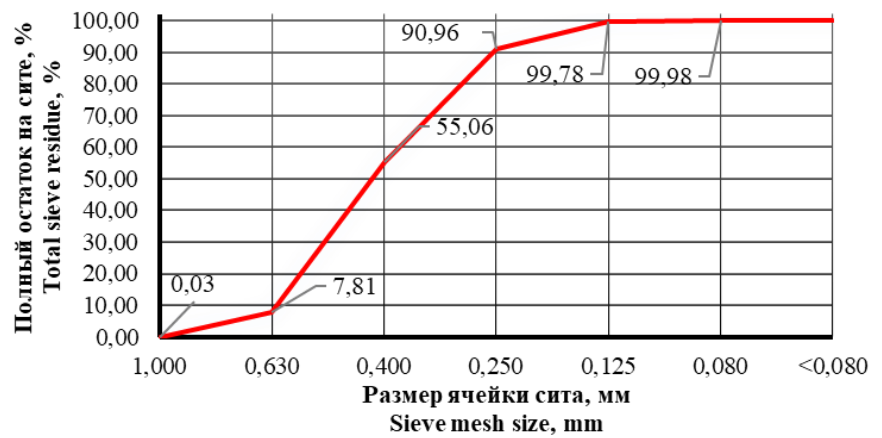


РИСУНОК 2

ЗЕРНОВОЙ СОСТАВ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ фр. 0,6 мм
ООО «Дмитровский завод РТИ»

Figure 2

The grain composition of rubber crumb of 0.6 mm particle size Dmitrovsky RTI Plant



Снижение уровня шума измерялось в реверберационной камере. При помощи шумомера измерялся фон в камере без звукоизолирующей перегородки. Затем устанавливался испытуемый образец и определялись показания уровня звукового давления за перегородкой.

Исследование проводилось на 7 составах: одном эталонном без заполнителя и шести исследуемых. Водогипсовое отношение В/Ц составляло 0,39. Рассматривались составы с содержанием 5, 10 и 20 % легкого заполнителя из резиновой крошки фракций 0,6 и 0,8 мм. Резиновую крошку вводили сухим методом: сначала отвешивали гипс и нужное количество заполнителя, затем тщательно смешивали до однородности в смесителе при низких оборотах в течение 30 секунд. После этого перемешивали вручную, заливали воду и смешивали в смесителе на низких оборотах в течение одной минуты, после чего вручную в течение 30 секунд и еще одну минуту в смесителе на низких оборотах.

Эксперименты и обсуждение результатов

На основании результатов была получена зависимость технологических свойств гипсобетона с легким заполнителем от содержания резиновой крошки (рисунок 3). Установлено, что резиновая крошка в количестве 5, 10 и 20 % снижает подвижность на 10,8, 21,6 и 45,9 %, а заполнитель фракции 0,6 мм на 8,1, 29,7 и 40,5 %. Большое снижение подвижности объясняется формой и поверхностной структурой зерен легкого заполнителя. Несмотря на то, что резина гидрофобна, вода

Noise reduction was measured in the reverberation chamber. A noise meter was used to measure the background in the chamber without a soundproof partition. Then the test piece was installed and the sound pressure level readings behind the partition were determined.

The study was carried out on 7 compositions: one reference without aggregate and six tested compositions. The water plaster ratio B/C was 0.39. The compositions containing 5, 10 and 20 % of lightweight aggregate from rubber crumb of 0.6- and 0.8-mm fractions were considered. Rubber crumb was introduced by the dry method: firstly, gypsum and the required amount of aggregate were measured, then thoroughly mixed to homogeneity in a mixer at low speed for 30 seconds. After that, it was mixed manually, water was poured in and mixed in a mixer at low speed for one minute, then manually for 30 seconds and another minute in a mixer at low speed.

Experiments and discussion

Based on the results, the dependence of technological properties of gypsum concrete with lightweight aggregate on the content of rubber crumb (Figure 3) was obtained. It was found that rubber crumb in the amount of 5, 10 and 20 % reduces mobility by 10.8, 21.6 and 45.9 %, and the aggregate fraction of 0.6 mm by 8.1, 29.7 and 40.5 %. The large reduction in mobility is attributed to the shape and surface structure of the lightweight aggregate grains. Despite the fact that

адсорбируется на поверхности зерен легкого заполнителя и снижает общую подвижность смеси.

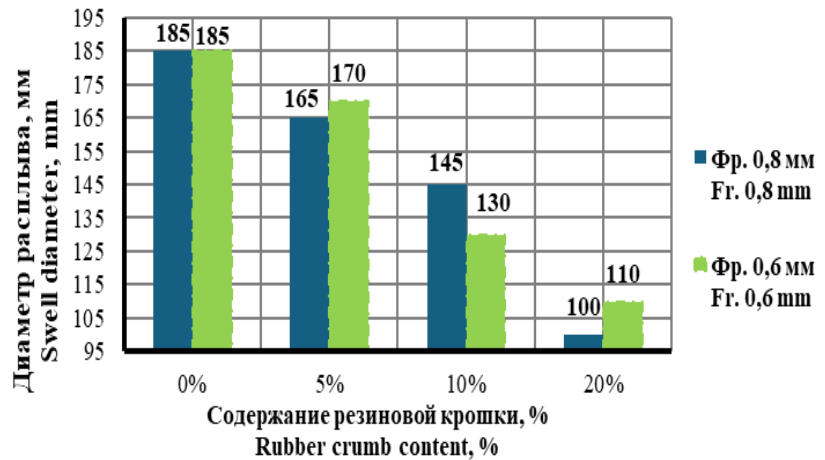
rubber is hydrophobic, water is adsorbed on the surface of lightweight aggregate grains and reduces the overall mobility of the mixture.

РИСУНОК 3

ИЗМЕНЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ СМЕСИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ И ФРАКЦИИ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ

Figure 3

Variation of mixture mobility depending on the content and fraction of rubber crumbs



При введении резиновой крошки в состав гипсобетона по мере увеличения содержания легкого заполнителя снижается плотность композита (рисунок 4). По полученным данным при введении резиновой крошки фракции 0,6 мм в количестве 20% плотность снижается с 1285 кг/м^3 до 1170 кг/м^3 , а при введении 20% резиновой крошки фракции 0,8 мм до 1190 кг/м^3 . Такой эффект достигается за счет низкой плотности заполнителя, равной примерно 900 кг/м^3 , и дополнительного воздуховлечения. Пузырьки воздуха во время перемешивания адсорбируются с резиновой крошкой и остаются в объеме смеси, образуя воздушную прослойку вокруг крупных частиц легкого заполнителя (рисунок 5).

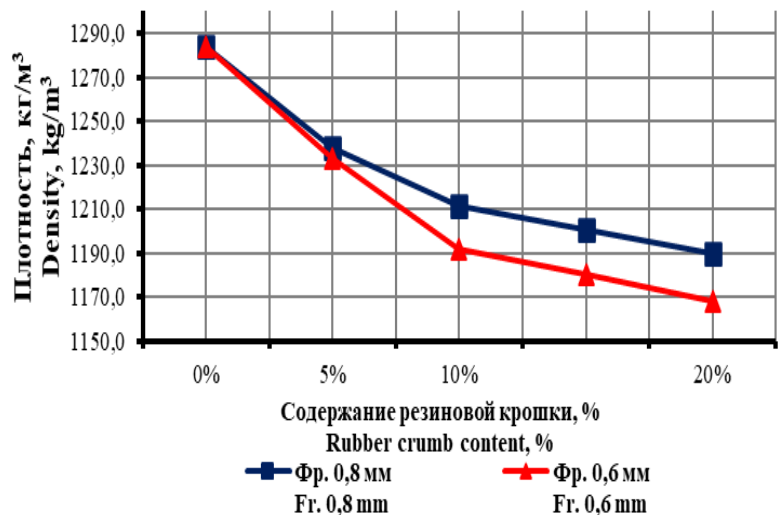
At introduction of rubber crumb in the composition of gypsum concrete as the content of light aggregate increases, the density of the composite decreases (Figure 4). According to the obtained data at introduction of rubber crumb of 0,6 mm fraction in the amount of 20% density decreases from 1285 kg/m^3 to 1170 kg/m^3 , and at introduction of 20% rubber crumb of 0,8 mm fraction to 1190 kg/m^3 . Such an effect is achieved due to the low density of the aggregate, which is about 900 kg/m^3 , and additional air entrainment. During mixing, air bubbles bind with the crumb rubber and remain in the volume of the mixture, forming an air layer around large particles of lightweight aggregate (Figure 5).

РИСУНОК 4

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ КОМПОЗИТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ И ФРАКЦИИ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ

Figure 4

Change of composite density depending on the content and fraction of rubber crumbs



Исследуемая гипсобетонная смесь имеет необходимую для достижения равномерности распределения резиновой крошки по объему композита подвижность и среднюю плотность. Гипсобетонная смесь без легкого заполнителя имеет плотность, равную примерно 1300 кг/м^3 , что выше плотности резиновой крошки на 400 кг/м^3 . При высокой подвижности смеси резиновая крошка неравномерно распределяется по объему и всплывает на поверхность, а при низкой подвижности

The investigated gypsum-concrete mixture has the mobility and average density necessary to achieve uniformity of rubber crumb distribution over the composite volume. Gypsum-concrete mixture without light aggregate has a density equal to about 1300 kg/m^3 , which is higher than the density of crumb rubber by 400 kg/m^3 . At high mobility of the mixture rubber crumb is unevenly distributed over the volume and floats to the surface, and at low mobility there is a difficulty in mixing such a mixture, which will lead to

возникает сложность перемешивания такой смеси, что приведет к агрегированию и образованию не промешанных участков с содержанием больших комков заполнителя. При $B/G=0,39$ и подвижности от 110 до 185 мм наблюдается равномерное распределение заполнителя по объему смеси. Резиновая крошка фракции 0,6 мм более склонна к агрегированию из-за большего остаточного статического напряжения после измельчения, в следствии чего в гипсобетоне при ее введении наблюдается большее количество дефектов, чем у композита с заполнителем фракции 0,8 мм (рисунок 5). Поэтому требуются перед введением фр. 0,6 мм дополнительные операции, предотвращающие ее агрегирование.

В следствии разного количества мелких частиц в составе легких заполнителей из резиновой крошки фракции 0,6 и 0,8 мм наблюдается значительное отличие в структуре композитов. В гипсобетоне с резиновой крошкой фракции 0,6 мм наблюдается большое количество мелких частиц, когда у фракции 0,8 мм наблюдаются более крупные частицы с небольшим количеством мелких (рисунок 5).

На рисунке 6 приведена структура композита, определенная при помощи оптического микроскопа при увеличении $\times 50$. Наблюдается скопление воздуха, захваченного резиновой крошкой в процессе перемешивания. Такой эффект наблюдается на поверхности зерен более крупного по размеру заполнителя (рисунок 6). На зернах меньшего размера такой эффект не обнаружен.

РИСУНОК 5

СТРУКТУРА ГИПСОБЕТОНА С РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ фракции 0,6 мм и 0,8 мм (слева на право) в количестве 20%

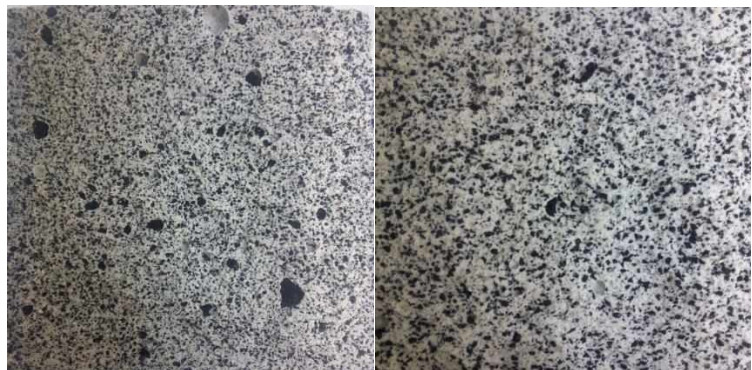


Figure 5

Structure of gypsum concrete with rubber chips of 0.6 mm and 0.8 mm fractions (left to right) in the amount of 20 per cent

РИСУНОК 6

ДЕФЕКТЫ СТРУКТУРЫ ГИПСОБЕТОНА С РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ:
красный овал — пора от захваченного заполнителем воздуха;
синий овал — заполнитель без захвата воздуха

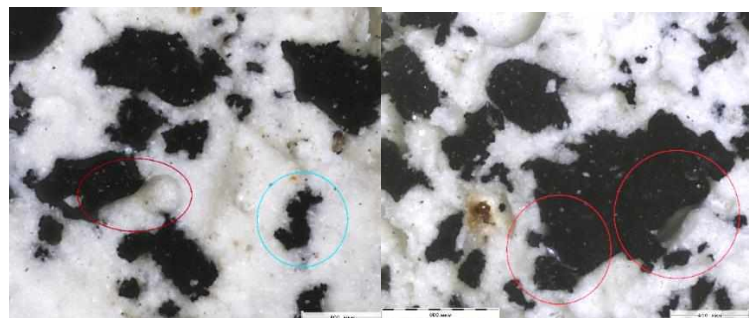


Figure 6

Defects in the structure of gypsum concrete with rubber crumb: red oval - pores from air trapped by the aggregate; blue oval - aggregate without air trapping

По результатам лабораторных испытаний было установлено, что введение резиновой крошки повышает теплотехнические характеристики гипсобетона (рисунок 7). Наблюдается зависимость снижения коэффициента

агрегации и образования не перемешанных участков с содержанием больших комков агрегата. At $B/G=0,39$ and mobility from 110 to 185 mm there is a uniform distribution of aggregate in the volume of the mixture. Rubber crumb fraction 0,6 mm is more prone to aggregation because of the greater residual static stress after grinding, as a result of which in gypsum concrete at its introduction is observed a greater number of defects than in the composite with aggregate fraction 0,8 mm (Figure 5). Therefore, before the introduction of 0.6 mm fraction additional operations are required to prevent its aggregation.

Due to the different number of fine particles in the composition of lightweight aggregates made of crumb rubber fraction 0.6 and 0.8 mm, there is a significant difference in the structure of composites. In gypsum concrete with rubber crumb fraction 0.6 mm a large number of small particles are observed, while in the fraction 0.8 mm larger particles with a small number of small particles are observed (Figure 5).

Figure 6 shows the composite structure determined using an optical microscope at $\times 50$ magnification. The accumulation of air trapped by the rubber crumb during the mixing process is observed. This effect is observed on the surface of the grains of larger size aggregate (Figure 6). This effect is not detected on smaller grains.

According to the results of laboratory tests it was found that the introduction of rubber crumb increases the thermal performance of gypsum concrete (Figure 7). There is a dependence of the decrease in the thermal conductivity

теплопроводности от увеличения содержания резиновой крошки. В составе гипсобетона легкий заполнитель фракции 0,6 мм с содержанием 5, 10 и 20 % снижает теплопроводность композита на 6,6, 11,4 и 19,6 % соответственно, а легкий заполнитель фракции 0,8 мм снижает ее на 4,7, 8,4 и 13,7 % соответственно.

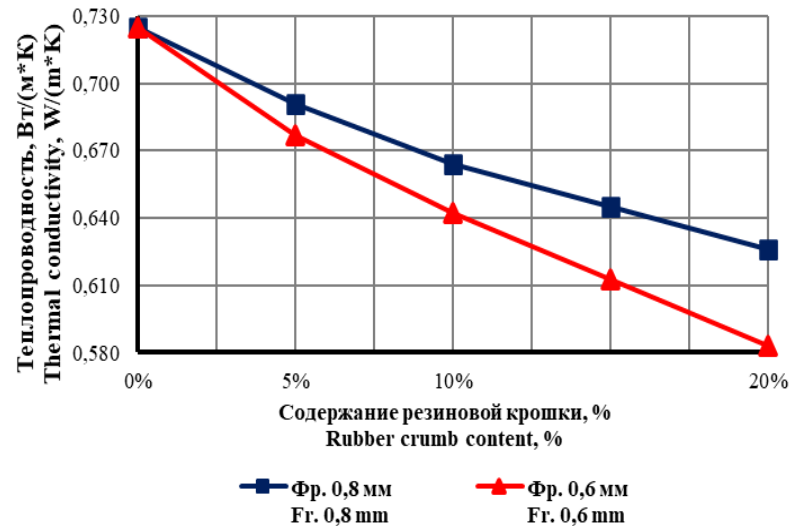
coefficient on the increase in the content of rubber crumb. In the composition of gypsum concrete lightweight aggregate of 0.6 mm fraction with the content of 5, 10 and 20 % reduces the thermal conductivity of the composite by 6.6, 11.4 and 19.6 %, respectively, and lightweight aggregate of 0.8 mm fraction reduces it by 4.7, 8.4 and 13.7 %, respectively.

РИСУНОК 7

ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГИПСОБЕТОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ И ФРАКЦИИ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ

Figure 7

Variation of thermal conductivity coefficient of gypsum concrete depending on the content and fraction of rubber crumbs



На лабораторном стенде для определения эффективного звукопоглощения были определены акустические показатели для трех составов: без заполнителя; с легким заполнителем фракции 0,6 мм и содержанием 20 %; с легким заполнителем фракции 0,8 мм и содержанием 20 %. Для проведения испытания были изготовлены образцы размером 145×350×40 мм. На основе полученных данных рассчитаны значения эффективного звукопоглощения воздушного шума представленные в таблице 2. Установлено, что во всем диапазоне частот октавных полос гипсобетон без легкого заполнителя имеет показатель эффективности звукопоглощения от 5,2 до 39,6 %.

On the laboratory bench for determining the effective sound absorption, acoustic parameters were determined for three compositions: without aggregate; with lightweight aggregate of 0.6 mm fraction and 20% content; with lightweight aggregate of 0.8 mm fraction and 20% content. Specimens of 145×350×40 mm were made for testing. On the basis of the obtained data the values of effective sound absorption of air noise were calculated and presented in Table 2. It was found that in the whole range of frequencies of octave bands gypsum concrete without lightweight aggregate has an index of effective sound absorption from 5.2 to 39.6 %.

Гипсобетон с легким заполнителем из переработанных автомобильных шин фракции 0,6 мм имеет эффективность звукопоглощения от 6,5 до 47,6 %, а фракция 0,8 мм имеет эффективность звукопоглощения от 7,9 до 50,4 %. В среднем показатели эффективности звукопоглощения образца по всем октавным полосам в диапазоне измерения от 63 до 8000 Гц:

Gypsum concrete with lightweight aggregate from recycled car tyres of 0.6 mm fraction has sound absorption efficiency from 6.5 to 47.6 %, and 0.8-mm fraction has sound absorption efficiency from 7.9 to 50.4 %. On average, the sound absorption efficiency of the sample for all octave bands in the measurement range from 63 to 8000 Hz:

ТАБЛИЦА 2. ИЗМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ СРЕДНЕ-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОКТАВНЫХ ПОЛОС

Table 2. Change of effective sound absorption in the range of mid-geometric octave bands

Содержание заполнителя Content aggregate	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц Geometric mean frequency of octave band, Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность звукопоглощающей перегородки, % Sound absorbing baffle efficiency, %							
0 %	9,2	5,2	15,7	39,6	12,2	10,4	23,3	11,6
20 % фракции 0,6 мм 20 % fraction 0.6 mm	6,9	6,5	18,5	47,6	14,2	11,0	26,3	14,0
20 % фракции 0,8 мм 20 % fraction 0.8 mm	7,9	8,8	19,9	50,4	28,7	25,1	30,1	14,4

– без заполнителя — 15,9 %;

– without filler - 15.9 %;

- с резиновой крошкой фракции 0,6 мм в количестве 20 % — 18,1 %;
- с резиновой крошкой фракции 0,8 мм в количестве 20 % — 23,1 %.

Резиновая крошка фракции 0,8 мм в количестве 20 % положительно влияет на звукопоглощение гипсобетона. Гипсобетон с легким заполнителем из резиновой крошки снижает уровень шума на 7,2 % лучше, чем гипсобетон без заполнителя.

По результатам испытаний было установлено, что резиновая крошка значительно снижает прочность при сжатии. При введении резиновой крошки фракции 0,6 мм в количестве 5, 10 и 20 % в состав композита прочность при сжатии снижается с 16,5 МПа до 11,5, 10,1 и до 7,5 МПа соответственно, а при введении резиновой крошки фракции 0,8 мм снижается до 12,0, 10,5 и до 7,3 МПа. Можно наблюдать, что значения прочности образцов с одинаковым содержанием, но разным размером фракции одинаковы. Эти значения подтверждаются данными других исследований [16, 17]. Показатели прочности можно повысить при помощи обработки резиновой крошки раствором щелочи, либо физико-механической активацией [18, 19].

Заключение

1. В результате исследований установлено, что введение резиновой крошки в количестве 5, 10 и 20 % снижает подвижность на 10,8, 21,6 и 45,9 % соответственно, а заполнитель фракции 0,6 мм на 8,1, 29,7 и 40,5 % соответственно, что связано с характером поверхности.

2. Установлено, что при введении резиновой крошки фракции 0,6 мм в количестве 20% плотность снижается с 1285 кг/м³ до 1170 кг/м³, а при введении 20 % резиновой крошки фракции 0,8 мм до 1190 кг/м³. Вместе с этим повышается воздухоовлечение по средствам захвата пузырьков воздуха, резиновой крошкой.

3. Введение легкого заполнителя из резиновой крошки способствует снижению теплопроводности гипсобетона на основе гипсового вяжущего с применением отходов переработки автомобильных шин. Установлено, что резиновая крошка в количестве 5, 10 и 20 % фракции 0,6 мм снижает теплопроводность гипсобетона на 6,6, 11,4 и 19,6 % соответственно; фракции 0,8 мм снижает теплопроводность на 4,7, 8,4 и 13,7 % соответственно.

4. Исследовано влияние резиновой крошки в количестве 20 % на акустические свойства конструкций. Установлено, что эффективность звукопоглощения гипсобетона без легкого заполнителя варьируется в диапазоне 63 – 8000 Гц и составляет 5,2 – 39,6 %, гипсобетона с легким заполнителем из переработанных автомобильных шин фракции 0,6 мм имеет эффективность звукопоглощения 6,5 – 47,6 %, а фракции 0,8 мм составляет 7,9 – 50,4 %. В среднем звукопоглощение в диапазоне октавных частот для гипсобетона составило 15,9 %, для гипсобетона с резиновой крошкой фракции 0,6 мм составило 18,1 %, для гипсобетона с резиновой крошкой фракции 0,8 мм составило 23,1 %.

5. Установлено, что введение 5, 10 и 20 % легкого заполнителя на основе резиновой крошки фракции 0,6 мм снижает прочность при сжатии на 30, 38 и 55 %, при введении легкого заполнителя фракции 0,8 мм прочность снижается на 27, 36 и 56 % соответственно.

- with crumb rubber of 0.6 mm fraction in the amount of 20 % - 18.1 %;
- with crumb rubber of 0.8 mm fraction in the amount of 20 % - 23.1 %.

Rubber crumb of 0.8 mm fraction in the amount of 20 % has a positive effect on the sound absorption of gypsum concrete. Gypsum concrete with lightweight aggregate from rubber crumb reduces noise level by 7.2 % better than gypsum concrete without aggregate.

From the test results, it was found that the rubber crumb significantly reduces the compressive strength. When rubber crumb of 0.6 mm fraction is introduced in the amount of 5, 10 and 20 % in the composite, the compressive strength decreases from 16.5 MPa to 11.5, 10.1 and 7.5 MPa respectively and when rubber crumb of 0.8 mm fraction is introduced, it decreases to 12.0, 10.5 and 7.3 MPa. It can be observed that the strength values of specimens with the same content but different fraction size are similar. These values are confirmed by other studies [17, 16]. The strength values can be increased by treating the crumb rubber with alkali solution or by physical and mechanical activation [18, 19].

Conclusions

1. The result of the study revealed that the introduction of crumb rubber in the amount of 5, 10 and 20 % reduces the mobility by 10.8, 21.6 and 45.9 % respectively, and the aggregate of 0.6 mm fraction by 8.1, 29.7 and 40.5 % respectively, which is due to the nature of the surface.

2. It is established that at introduction of rubber crumb of 0.6 mm fraction in quantity of 20 % the density decreases from 1285 kg/m³ to 1170 kg/m³, and at introduction of 20 % rubber crumb of 0.8 mm fraction to 1190 kg/m³. At the same time, the air-involvement increases by means of capturing air bubbles by rubber crumbs.

3. Introduction of light aggregate from rubber crumb contributes to the reduction of thermal conductivity of gypsum concrete on the basis of gypsum binder with the use of waste recycling of car tyres. It is established that rubber crumb in the amount of 5, 10 and 20 % of 0.6 mm fraction reduces the thermal conductivity of gypsum concrete by 6.6, 11.4 and 19.6 % respectively; 0.8 mm fraction reduces the thermal conductivity by 4.7, 8.4 and 13.7 % respectively.

4. the influence of rubber crumb in the amount of 20 % on acoustic properties of structures has been studied. It was found that the sound absorption efficiency of gypsum concrete without lightweight aggregate varies in the range of 63 - 8000 Hz and is 5.2 - 39.6 %, gypsum concrete with lightweight aggregate from recycled car tyres of 0.6 mm fraction has a sound absorption efficiency of 6.5 - 47.6 %, and 0.8-mm fraction is 7.9 - 50.4 %. On average, the sound absorption in the octave frequency range for gypsum concrete was 15.9 %, for gypsum concrete with rubber crumb fraction 0.6 mm was 18.1 %, for gypsum concrete with rubber crumb fraction 0.8 mm was 23.1 %.

5. It is established that the introduction of 5, 10 and 20 % of lightweight aggregate on the basis of rubber crumb fraction 0.6 mm reduces the compressive strength by 30, 38 and 55 %, while the introduction of lightweight aggregate

6. Резиновую крошку можно использовать в качестве легкого заполнителя для композитов на основе гипсового вяжущего. Она способствует снижению теплопроводности, плотности и повышению звукопоглощения, но значительно снижает прочность и подвижность смеси. Разработанный состав легкого бетона можно применять для производства изделий, используемых для ограждающих конструкций, например, в межкомнатных перегородках из пазогребневых плит, гипсокартона и т.п. Для улучшения свойств полученного состава необходимо стремиться к уменьшению средней плотности и повышению прочности путем использования химических добавок и наполнителей.

Литература:

1. Кротенко А. Л., Конев А. А. Анализ динамики изменения состояния парка легковых автомобилей и системы технического обслуживания и ремонта в России //Международный студенческий научный вестник. – 2018. – №. 3-8. – С. 1282-1285.
2. Сиваков В. В., Гульцев Е. С. Улучшение экологической обстановки при утилизации шин. – 2014.
3. Шестакова К. М., Межова Л. А. Геоэкологический анализ негативного воздействия утилизации и хранения автомобильных шин в процессе автосервисной деятельности //Территориальная организация общества и управление в регионах. – 2023. – С. 53-57.
4. Дьяченко Е. А. Экологическая опасность резин для автомобильных шин //Теоретические знания в практические дела: Сборник научных статей. – С. 40.
5. Комарова Н. В., Закирова Е. Р. Проблемы накопления отработанных автомобильных покрышек и перспективные методы их утилизации //Декада экологии. – 2016. – С. 47-49.
6. Larsen O. et al. Properties of sand concrete with recycled tyre polymer fibers //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 263. – С. 01015.
7. 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. – Т. 13. – №. 4. – С. 897.
8. Языев С. Б., Галаяудинова Д. М., Рязанова Г. Н. Современные материалы для оптимизации устройства систем звукоизоляции //Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии. – 2023. – С. 943-948.
9. Осипов А. Н. Энергоэффективный, пожаробезопасный теплоизоляционный материал–пеностекло //Кровельные и изоляционные материалы. – 2013. – №. 2. – С. 17-18.
10. Вайсберг Л. А., Каменева Е. Е. Исследование состава и физико-механических свойств вторичного щебня из дробленого бетона //Строительные материалы. – 2014. – №. 6. – С. 41-45.
11. Саканов К. Т. и др. Влияние частиц резиновой крошки в составе бетонной смеси на дорожный шум //Наука и техника Казахстана. – 2022. – №. 3. – С. 111-117.
12. Кушкимбаева И. Н., Кунавина Е. А. Исследование возможности применения отходов резины для изготовления шумоизолирующего материала //актуальные вопросы в науке и практике. – 2019. – С. 9-12.
13. Ghizdăveț Z. et al. Sound absorbing materials made by embedding crumb rubber waste in a concrete matrix //Construction and Building Materials. – 2016. – Т. 124. – С. 755-763.
14. Гончаров Ю. А., Дубровина Г. Г., Шныпко С. Д. Обеспечение требуемых акустических условий в помещениях за счет применения гипсовых пазогребневых плит //Строительные материалы. – 2018. – №. 8. – С. 31-35.

fraction 0,8 mm reduces the strength by 27, 36 and 56 % respectively.

6. Rubber crumb can be used as a lightweight aggregate for gypsum-based composites. It helps to reduce thermal conductivity, density and increase sound absorption, but significantly reduces the strength and mobility of the mixture. The developed composition of lightweight concrete can be used for the production of products used for enclosing structures, for example, in interior partitions made of tongue and groove boards, gypsum board, etc. To improve the properties of the resulting composition, it is necessary to strive to reduce the average density and increase the strength by using chemical additives and fillers.

References:

1. Krotenko A. L., Konev A. A. Analysis of the dynamics of changes in the state of the passenger car fleet and the system of maintenance and repair in Russia // *Mezhdunarodnyj studentcheskij nauchnyj vestnik*. - 2018. - №. 3-8. - pp. 1282-1285.
2. Sivakov V. V., Gultsev E. C. Improvement of ecological situation in tyre recycling. - 2014.
3. Shestakova K. M., Mezhoa L. A. Geo-ecological analysis of the negative impact of disposal and storage of car tyres in the process of car service activity // *Territorial'naya organizaciya obshchestva i upravlenie v regionah*. - 2023. - pp. 53-57.
4. Dyachenko E. A. Ecological hazard of rubbers for car tyres // *Teoreticheskie znaniya v prakticheskie dela: Sbornik nauchnyh statej*. - pp. 40.
5. Komarova N. V., Zakirova E. R. Problems of accumulation of used car tyres and perspective methods of their utilisation // *Dekada ekologii*. - 2016. - pp. 47-49.
6. Larsen O. et al. Properties of sand concrete with recycled tyre polymer fibers //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 263. – С. 01015.
7. 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. – Vol. 4. – pp. 897.
8. Yazyev S. B., Galyautdinova D. M., Ryazanova G. N. Modern materials for optimisation of sound insulation systems // *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'stvo i stroitel'nye tekhnologii*. - 2023. - pp. 943-948.
9. Osipov A. N. Energy-efficient, fire-safe thermal insulation material-foam glass // *Krovel'nye i izolyacionnye materialy*. - 2013. - №. 2. - pp. 17-18.
10. Vaisberg L. A., Kameneva E. E. Study of composition and physical and mechanical properties of secondary crushed stone from crushed concrete // *Stroitel'nye materialy*. - 2014. - №. 6. - pp. 41-45.
11. Sakanov K. T. et al. Influence of rubber crumb particles in the composition of concrete mixture on road noise // *Nauka i tekhnika Kazahstana*. - 2022. - №. 3. - pp. 111-117.
12. Kushkimbaeva I. N., Kunavina E. A. Study of the possibility of using waste rubber for the manufacture of noise-isolating material // *aktual'nye voprosy v nauke i praktike* - 2019. - pp. 9-12.
13. Ghizdăveț Z. et al. Sound absorbing materials made by embedding crumb rubber waste in a concrete matrix // *Construction and Building Materials*. – 2016. – №. 124. – pp. 755-763.
14. Goncharov Yu. A., Dubrovina G. G., Shnipko S. D. Ensuring the required acoustic conditions in the premises through the use of gypsum cavity boards // *Stroitel'nye materialy*. - 2018. - №. 8. - pp. 31-35.
15. Kochkin A. A. A., Shashkova L. E. About increase of sound insulation of enclosing structures // *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. - 2010. - №. 3. - pp. 198-199.

15. Кочкин А. А., Шашкова Л. Э. О повышении звукоизоляции ограждающих конструкций // *Academia*. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 198-199.
16. Ильина Л. В., Ризаев Б. Ш., Жураев Э. С. Современные тенденции развития и анализ эффективности использования легких бетонов // *Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин)*. – 2018. – Т. 21. – № 4. – С. 29-36.
17. Atahan A. O., Yücel A. Ö. Crumb rubber in concrete: Static and dynamic evaluation // *Construction and building materials*. – 2012. – Т. 36. – С. 617-622.
18. Вдовин А. А., Поторочина С. А. Способы улучшения эффективности использования резиновой крошки в качестве мелкого заполнителя в бетоне // *Интеграционные процессы в науке в современных условиях*. – 2017. – С. 20-23.
19. Трофимова Г. М. и др. Модификация резиновой крошки // *Высокомолекулярные соединения. Серия А*. – 2003. – Т. 45. – № 6. – С. 912-920.
16. Ilyina L. V., Rizaev B. Sh., Zhuraev E. S. Modern trends in the development and analysis of the efficiency of lightweight concrete // *Trudy Novosibirskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta (Sibstrin)*. – 2018. – Т. 21. – № 4. – pp. 29-36.
17. Atahan A. O., Yücel A. Ö. Crumb rubber in concrete: Static and dynamic evaluation // *Construction and building materials*. – 2012. – № 36. – pp. 617-622.
18. Vdovin A. A., Potorochina S. A. Ways to improve the efficiency of rubber crumb as fine aggregate in concrete // *Integratsionnyye processy v nauke v sovremennykh usloviyakh*. – 2017. – pp. 20-23.
19. Trofimova G. M. et al. Modification of rubber crumb // *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya A*. – 2003. – № 45. – Vol. 6. – pp. 912-920.

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 (автор для связи)

Марков Юрий Игоревич – студент-магистр, инженер научно-исследовательского института строительных материалов и технологий ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), E-mail: uyra377@gmail.com

Василькин Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры металлических и деревянных конструкций ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
E-mail: VasilkinAA@mgsu.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 (author for contact)

Markov Yuri Igorevich - Master's student, engineer of the Research Institute of Building Materials and Technologies of the National Research Moscow State Construction University (NRU MSCU),
E-mail: uyra377@gmail.com

Vasilkin Andrey Alexandrovich – PhD., Associate Professor; Federal State Educational Institution of Higher Education “National Research Moscow State University of Civil Engineering”,
E-mail: VasilkinAA@mgsu.ru

The authors declare that there is no conflict of interest.