

The potential of using «green» concrete and waste glass in the manufacture of light-transmitting decorative products

Tang Van Lam¹ , Nguyen Sang² , Boris I. Bulgakov³ , Nadezhda A. Lukyanova^{3*} 

¹ Hanoi University of Mining and Geology (HUMG) (18, Pho Vien, Dong Ngac, Hanoi, 100000, Vietnam)

² Thanh Dong University, 3 Vu Cong Dan, Tu Minh District, Hai Phong, 180000, Vietnam

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, Russian Federation

* Corresponding author: e-mail: galcevanadezda@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The volume of industrial, agricultural, and household waste generated annually in Vietnam has been steadily increasing, while the demand for building materials is growing. This study evaluates the feasibility of using cement-free "green" concrete based on thermal power plant fly ash, blast furnace slag, and glass waste to produce translucent decorative elements. **Materials and methods.** The study used research methods that comply with current Vietnamese standards, as well as a specially developed experimental setup to determine the light transmittance coefficient of decorative "green" concrete samples. Cement-free binders were produced using fly ash from the Pha Lai Thermal Power Plant and finely ground granulated blast furnace slag from the Hoa Phat Steel Plant, combined with an activator consisting of a 1:1 mixture of aqueous solutions of NaOH and Na₂SiO₃. The concrete mixtures also included glass waste of various colors, crushed to particles sized 5.0–20.0 mm, decorative fine aggregate with a fraction of 2.5–5.0 mm, and a superplasticizing admixture under the trade name MVN-SR manufactured by Silkroad Hanoi. Synthetic polypropylene fibers in the form of individual filaments and steel mesh fiber were used to provide dispersed reinforcement for decorative translucent products to improve their crack resistance and mechanical properties. Additionally, various pigment powders in red, yellow, blue, and other colors were used to impart the desired color range and aesthetic properties to the decorative products. **Results.** Four compositions with waste glass contents ranging from 5 to 20% by weight were developed to analyze their effect on the workability of concrete mixes, as well as the physical and mechanical properties and light transmittance of decorative products. The obtained results showed that with an increase in the glass content, the workability of concrete mixes according to the cone flow decreased from 25 to 19 cm, while their average density increased from 2068 to 2169 kg/m³. After curing for 28 days, the compressive strength of concrete samples was 38–46 MPa, tensile strength in bending was at least 4.9 MPa, wear resistance was 0.3–0.51 g/cm³, water absorption by weight was from 7.3 to 8.5%, and the light transmittance coefficient increased from 11.8 to 20.5%. **Conclusion.** The resulting light-transmitting decorative products are suitable for interior and exterior decoration, simultaneously providing the required performance characteristics and creating a soft light diffusion effect indoors. Furthermore, the use of high-volume industrial waste helps reduce natural resource consumption and carbon dioxide emissions, confirming the potential of this decorative finishing material to enhance the architectural expression of residential and public building interiors.

KEYWORDS: "green" light-transmitting concrete, waste glass, decorative products, light transmittance coefficient

SOURCES OF FUNDING FOR THE SCIENTIFIC WORK THAT RESULTED IN THE PUBLICATION: The content of this article is partially derived from the university-level scientific and technological product incubation project for 2025 at Hanoi University of Mining and Geology (HUMG), entitled "Development of Translucent Decorative Concrete Products Using Glass Waste and Dispersed Fiber Reinforcement" (Project Code: DAUT.01.2005).

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors sincerely acknowledge the laboratory facilities of Hanoi University of Mining and Geology (HUMG), which supported the implementation of this research project.

FOR CITATION:

Lam Tang Van, Nguyen Sang, Bulgakov B.I., Lukyanova N.A. The potential of using «green» concrete and waste glass in the manufacture of light-transmitting decorative products. *Nanotechnologies in construction*. 2026;18(3):379–392. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2026-18-3-379-392>. – EDN: UFUZGU.

Возможность использования «зелёного» бетона и отходов стекла для изготовления светопропускающих декоративных изделий

Танг Ван Лам¹ , Нгуен Санг² , Борис Игоревич Булгаков³ , Надежда Алексеевна Лукьянова^{3*} 

¹ Ханойский горно-геологический университет (HUMG), 18 Фо Виен, Донг Нгак, Ханой, 100000, Вьетнам

² Университет Тхань Донг, 3 Ву Конг Дан, район Ту Минь, Хайфон, 180000, Вьетнам

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Российская Федерация

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: galcevanadezda@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Объем промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов, образующихся ежегодно во Вьетнаме, постоянно увеличивается, в то время как потребность в строительных материалах становится все более актуальной. В данном исследовании оценивается возможность использования бесцементного «зеленого» бетона на основе золы-уноса тепловых электростанций, доменного шлака и отходов стекла для изготовления светопропускающих декоративных изделий. **Материалы и методы.** В работе применялись методы исследований, соответствующие действующим вьетнамским стандартам, а также специально разработанная экспериментальная установка для определения коэффициента светопропускания образцов декоративных «зеленых» бетонов. Для получения бесцементного вяжущего были использованы зола-уноса ТЭС «Фа Лай» и тонкомолотый доменный гранулированный шлак металлургического завода «Хоа Фат» в сочетании с активизатором, состоящим из смеси водных растворов NaOH и Na₂SiO₃ в соотношении 1:1. В состав бетонных смесей также входили стекольные отходы разного цвета, измельченные до частиц размером 5,0–20,0 мм, декоративный мелкий заполнитель фракции 2,5–5,0 мм, суперпластифицирующая добавка под торговым названием MVN-SR производства компании «Silkroad Ханой». Для дисперсного армирования декоративных светопропускающих изделий с целью повышения их трещиностойкости и улучшения механических свойств использовались синтетические полипропиленовые волокна в виде отдельных филаментов и стальная сетчатая фибра. Кроме того, для придания декоративным изделиям требуемой цветовой гаммы и эстетических характеристик применялись различные пигментные порошки красного, желтого, синего и других цветов. **Результаты и обсуждения.** Были разработаны четыре состава с содержанием отходов стекла от 5 до 20% мас. с целью анализа их влияния на удобоукладываемость бетонной смеси, а также физико-механические свойства и способность декоративных изделий пропускать свет. Полученные результаты показали, что при увеличении содержания стекла удобоукладываемость бетонных смесей по расплыву конуса снизилась с 25 до 19 см, тогда как их средняя плотность увеличилась с 2068 до 2169 кг/м³. В возрасте твердения 28 суток прочность бетонных образцов на сжатие составила 38–46 МПа, прочность на растяжение при изгибе – не менее 4,9 МПа, износостойкость 0,3–0,51 г/см³, водопоглощение по массе от 7,3 до 8,5%, а коэффициент светопропускания повысился с 11,8 до 20,5%. **Заключение.** Полученные светопропускающие декоративные изделия подходят для внутренней и наружной отделки и одновременно обеспечивают требуемые эксплуатационные характеристики, а также создают внутри помещений эффект мягкого рассеивания света. Кроме того, использование крупнотоннажных промышленных отходов способствует снижению потребления природных ресурсов и выбросов углекислого газа, что подтверждает потенциал использования разработанного декоративно-отделочного материала для усиления архитектурной выразительности интерьеров жилых и общественных зданий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: «зеленый» светопропускающий бетон, стекольные отходы, декоративные изделия, коэффициент светопропускания

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ НАУЧНОЙ РАБОТЫ, РЕЗУЛЬТАТОМ КОТОРОЙ СТАЛА ПУБЛИКАЦИЯ: Содержание данной статьи является частью результатов научно-исследовательского проекта по инкубации научно-технологической продукции Ханойского горно-геологического университета (HUMG) на 2025 год «Разработка светопропускающих декоративных бетонных изделий с использованием стеклянных отходов и дисперсного армирования» (код проекта: DAUT.01.2005)

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают искреннюю благодарность лаборатории Ханойского горно-геологического университета, предоставленной для реализации данного проекта.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Лам Танг Ван, Нгуен Санг, Булгаков Б.И., Лукьянова Н.А. Возможность использования «зеленого» бетона и отходов стекла для изготовления светопропускающих декоративных изделий. *Нанотехнологии в строительстве*. 2026;18(3):379–392. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2026-18-3-379-392>. – EDN: UFUZGU.

INTRODUCTION

In recent years, the development of green building materials and the promotion of a circular economy model have become an important policy area for many countries, including Vietnam, with the aim of reducing greenhouse gas emissions, conserving natural resources, and limiting environmental pollution. The production of building materials, particularly cement and traditional concrete, is considered a significant source of CO₂ emissions and is accompanied by high consumption of non-renewable mineral resources [1]. Under these conditions, research into green concrete using cement-free binders or reduced cement content in combination with the use of large-scale industrial waste, such as fly ash from thermal power plants and metallurgical slag, is attracting increasing interest from the scientific community and industrial practice [2, 3].

In parallel with the problem of emissions from the production of traditional building materials, the volume of glass waste generated during construction, building renovation, and household consumption is constantly increasing, especially in large cities. Glass is a material that is difficult to decompose, persists for a long time in the natural environment, and creates a significant burden on solid waste disposal systems in the absence of effective recycling [4]. At the same time, due to its chemical stability, high strength, and good light transmittance, glass waste has significant potential for reuse as a functional material in construction and decorative products, and not just as waste subject to recycling (Fig. 1).

For interior and exterior building cladding, translucent materials such as art glass, translucent stone, and specialty composites are increasingly in demand due to their high aesthetic value and ability to create expressive light effects. However, most such products are currently characterized by high costs, energy-intensive production processes, and insufficient environmental sustainability. Meanwhile, research into translucent concrete or glass-filled concrete has primarily focused on large-format architectural structures or cladding panels, while insufficient attention has been paid to research focused on medium- and small-sized decorative products that simultaneously impose requirements on their mechanical properties, light transmittance, and aesthetic qualities [5].

In particular, for translucent decorative products, the material must not only ensure strength and operational stability but also facilitate efficient light distribution, create a harmonious visual effect, and match the interior and exterior spaces. The combination of “green” concrete with waste glass for the production of translucent decorative panels is considered a new approach that simultaneously promotes the efficient use of solid waste and expands the scope of “green” concrete’s application, from structural

applications to decorative and architectural finishing [6, 7].

Based on the stated premises, this study aims to evaluate the feasibility of using cementless “green” concrete in combination with waste glass for the production of translucent decorative products. The paper examines material selection, design principles for the mixture composition, manufacturing technology, and key product characteristics, including light transmittance, mechanical properties, and potential for use in interior and exterior finishes. The results obtained are expected to contribute to the development of scientific foundations for the development of durable and environmentally friendly decorative materials, as well as to ensure more efficient use of glass waste for the production of modern building materials with great architectural expressiveness.



Fig. 1. Decorative items made using glass waste:
a – Decorative box-type lamp; b – Decorative cladding panel

MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

a) Binder.

The binder used to produce the light-transmitting decorative concrete product included a mixture of fly ash from the Phả Lại Thermal Power Plant, which complies with the requirements of the Vietnamese standard TCVN 10302:2014 “Active mineral additive – fly ash for concrete, mortar and cement” (Fig. 2), and finely ground granulated blast furnace slag from the Hòa Phát metallurgical plant, which complies with the requirements of the TCVN 11586:2016 “Ground granulated blast-furnace slag for concrete and mortar” (Fig. 3) [8].



Fig. 2. Fly ash from the “Pha Lai” Thermal Power Plant

b) Aggregates.

The aggregates used included glass waste of various colors and sizes, obtained from solid waste landfills, crushed to particles of 5.0–20.0 mm, as well as decorative fine aggregate of 2.5–5.0 mm.

In this study, glass particles served as coarse aggregate and met the requirements of TCVN 7570:2006 “Aggregates for concrete and mortar – Specifications” (Fig. 4, 5).

Prior to use, the crushed glass particles were washed and classified according to color and size (Fig. 6). The average bulk density of the glass particles was approximately 2480 kg/m³.

Decorative fine aggregate was used to reduce shrinkage and enhance the load-bearing framework of the product. The particles of decorative fine aggregate were obtained



Fig. 3. Fine-ground blast furnace granulated slag from the “Hoa Phat” metallurgical plant



Fig. 4. Glass waste at a recycling collection point



Fig. 5. Glass waste particles after crushing



Fig. 6. Glass particles after processing and sorting

by sieving coarse yellow sand through sieves with mesh sizes ranging from 2.5 to 5.0 mm (Fig. 7).

In decorative concrete products in the form of thin panels, cracking is often observed after molding due to the high fluidity of the plastic binder suspension. Therefore, the use of fine decorative aggregate is necessary. However, when the aggregate content is excessively increased, the rheological properties of the mixture and its ability to fill the mold with the binder composition during the forming process are adversely affected [9].

c) Superplasticizing additive and activating solution.

In this study, a superplasticizer commercially known as MVN-SR, produced by the concrete admixture manufacturer Silkroad Hanoi (SILKROAD HANOI JSC), was used. This admixture belongs to the third-generation high-range water-reducing admixtures based

on polycarboxylates. The density of the aqueous solution of the admixture is approximately 1.15 g/cm^3 at a temperature of $25 \pm 5^\circ\text{C}$, complying with the requirements of TCVN 8826:2024 “Chemical Admixtures for Concrete” (Fig. 8). In this research, the superplasticizer was used at a dosage of 1.5% by mass of binder to obtain a plastic suspension with adequate flowability and self-compacting ability under its own weight during the forming process.

The activating solution used in this study consisted of a mixture of a 10 M NaOH solution and a Na_2SiO_3 solution with a $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ratio of 2.75. The mass ratio between the 10 M NaOH solution and the Na_2SiO_3 solution was 50:50%.

The mixture of the superplasticizer and the activating solution used in this study is shown in Fig. 9.



Fig. 7. Decorative fine aggregate



Fig. 8. MVN-SR superplasticizer



Fig. 9. Mixture of the superplasticizer and the

d) Fiber.

Synthetic polypropylene fibers in the form of individual filaments and steel mesh fiber were used for the dispersed reinforcement of decorative translucent products to improve their crack resistance and mechanical properties. The fibers were uniformly distributed throughout the raw material composition to reduce local stress concentration [10] (Fig. 10).

e) Water and pigments.

Water used for preparing the concrete mixture and for subsequent curing complied with the requirements of TCVN 4506:2012 “Water for concrete and mortar – Technical specification”.

In addition, various pigment powders, including red, yellow, blue, and other colors, were used in this study to provide the decorative products with the desired color

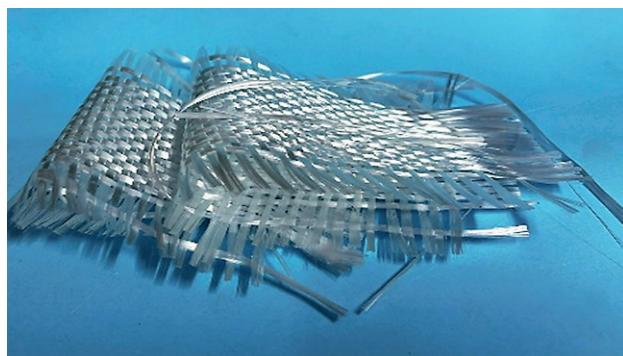


Fig. 10. Fibers for crack prevention



range and aesthetic characteristics, depending on the design requirements of the products (Fig. 11).

2.2. Composition of the concrete mixture and technology for producing translucent decorative products

The composition of the concrete mixture for producing “green” concrete was developed based on the use of fly ash and blast furnace slag as the main binders, combined with fine and coarse aggregates, water, and



Fig. 11. Decorative pigment powder

chemical admixtures to obtain a highly plastic mixture suitable for molding decorative products. The content of glass particles was selected according to the requirements for light-transmitting effects and aesthetic appearance of the products, rather than being determined solely based on physical and mechanical properties, as is commonly practiced in the mix design of conventional structural concrete.

Based on preliminary laboratory investigations, the following proportions of raw materials were adopted for 1 m³ of concrete mixture:

- Binder: 1000 kg;
- The content of thermal power plant fly ash and finely ground granulated blast furnace slag varied from 0 to 1000 kg to reach a total binder mass of 1000 kg;
- Decorative fine aggregate: 500 kg;
- Glass particle content: 5, 10, 15, and 20% by mass of binder;
- Fiber content: 5 and 10% by mass of binder;
- Superplasticizer dosage: 1.5% by mass of binder;
- Colored pigment dosage: 1.0% by mass of binder;
- Activating solution-to-binder ratio: 0.25;
- Water-to-binder ratio: 0.15.

The compositions of the concrete mixtures used to produce the green concrete are presented in Table 1.

The technological process for producing light-transmitting decorative concrete products was carried out through the following main stages:

1. Preparation of molds for manufacturing the products.
2. Preparation of raw materials.
3. Dosing of components and preparation of the concrete mixture.
4. Development of the decorative pattern and placement of glass particles in the molds.
5. Casting of the concrete mixture into the molds and forming of the products.
6. Demolding, curing of the products, application of a protective adhesive coating, and final surface finishing.

Fly ash, blast furnace slag, pigment powder, and the admixture were first dry-mixed to ensure uniformity of the mixture. After that, water was added, and mixing was

continued until the required plasticity of the mixture was achieved. The glass particles were arranged in the molds according to the designed composition in order to create the light-transmitting effect and ensure the aesthetic expressiveness of the products. After preparation, the concrete mixture was carefully poured into the molds to minimize the coverage of the glass element surfaces and thereby ensure the required light-transmitting capacity of the finished products [11, 12] (Fig. 12 and 13).

2.3. Test methods

In this study, the physical and mechanical properties of specimens in the form of thin panels of various sizes and thicknesses (square panels of 200×200 mm and 300×300 mm, as well as rectangular panels of 200×300 mm and 300×400 mm, with thicknesses ranging from 10 to 20 mm) made of “green” light-transmitting decorative concrete were determined in accordance with the requirements of TCVN 7744:2013 “Terrazzo Tiles”.

a) The following standardized parameters specified in this standard were determined:

- The slump flow of the concrete mixtures was determined using a standard truncated cone in accordance with TCVN 12209:2018 [13] (Fig. 14);
- The average density of translucent green concrete was determined in accordance with TCVN 3115:2022 [14];
- The water absorption of the concrete was determined in accordance with TCVN 7744:2013 [15];
- The abrasion resistance of the concrete was determined in accordance with TCVN 3113:2022 [16];
- The compressive strength at different curing ages was determined using cube specimens of 100×100×100 mm in accordance with TCVN 3118:2022 [17];
- The flexural tensile strength at the age of 28 days was determined using prism specimens of 100×100×400 mm in accordance with TCVN 3119:2022 [18].

b) Model for determining the light transmittance coefficient of experimental concrete specimens.

The light transmittance coefficient of decorative materials is used to evaluate the ability of light to pass through a material under the influence of an incident light source.

Table 1. Concrete mix compositions

Concrete mixture	Component content, kg									Total
	Fly ash “Pha Lai”	Blast furnace slag “Hoa Phat”	Glass particles	Fine decorative aggregate	Fiber	MVN-SR Superplasticizer	Activating solution	Colored pigments	Water	
GreCor-01	1000	0	50	500	100	15	250	10	150	2075
GreCor-02	600	400	100	500	100	15	250	10	150	2125
GreCor-03	400	600	150	500	50	15	250	10	150	2125
GreCor-04	0	1000	200	500	50	15	250	10	150	2175



Fig. 12. Wooden molds for product casting



Fig. 13. Preparation of molds and casting of the concrete mixture for product molding

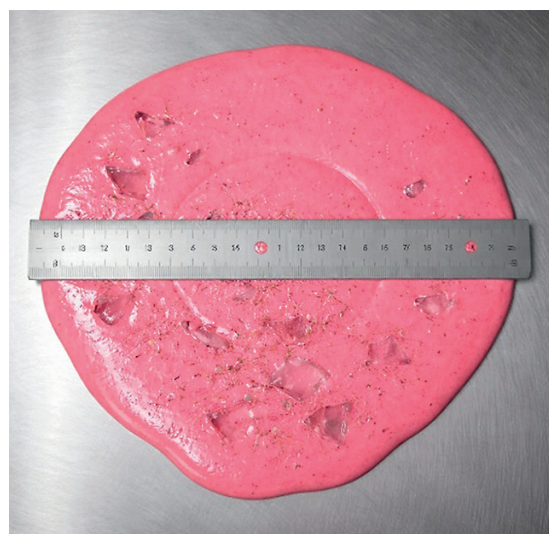


Fig. 14. Measurement of the slump flow of concrete mixtures

In this study, the light transmittance coefficient was defined as the ratio between the intensity of light transmitted through the material specimen (in lux) and the initial light intensity incident on the surface of the specimen (in lux).

For translucent concrete materials, the light transmittance coefficient reflects the efficiency of light transmission through the light-conducting components (such as glass particles or transparent phases) distributed within the concrete matrix. The value of this coefficient depends on the structure of the material, the proportion and size of the light-transmitting components, as well as the thickness of the specimen.

In this study, the light transmission intensity of the developed “green” decorative concretes was measured using a Testo 540 illuminance meter (Germany) (Fig. 15).

In this study, the experimental setup used to evaluate the light transmittance of decorative concrete products was designed and fabricated under laboratory conditions. It was constructed as a dark box in order to minimize the influence of ambient light on the measurement results (Fig. 16).

The light transmittance coefficient of “green” decorative concrete specimens (Ψ) is defined as the ratio between the light intensity (I , lux) transmitted through the material specimen and the initial light intensity (I_0 , lux) incident on the surface of the specimen, as expressed by the following equation:

$$\Psi = I/I_0 \times 100\%,$$

where: Ψ – light transmittance coefficient, %; I – light intensity transmitted through the tested specimen, lux; I_0 – initial light intensity incident on the surface of the specimen, lux.



Fig. 15. Testo 540 illuminance meter (Germany)

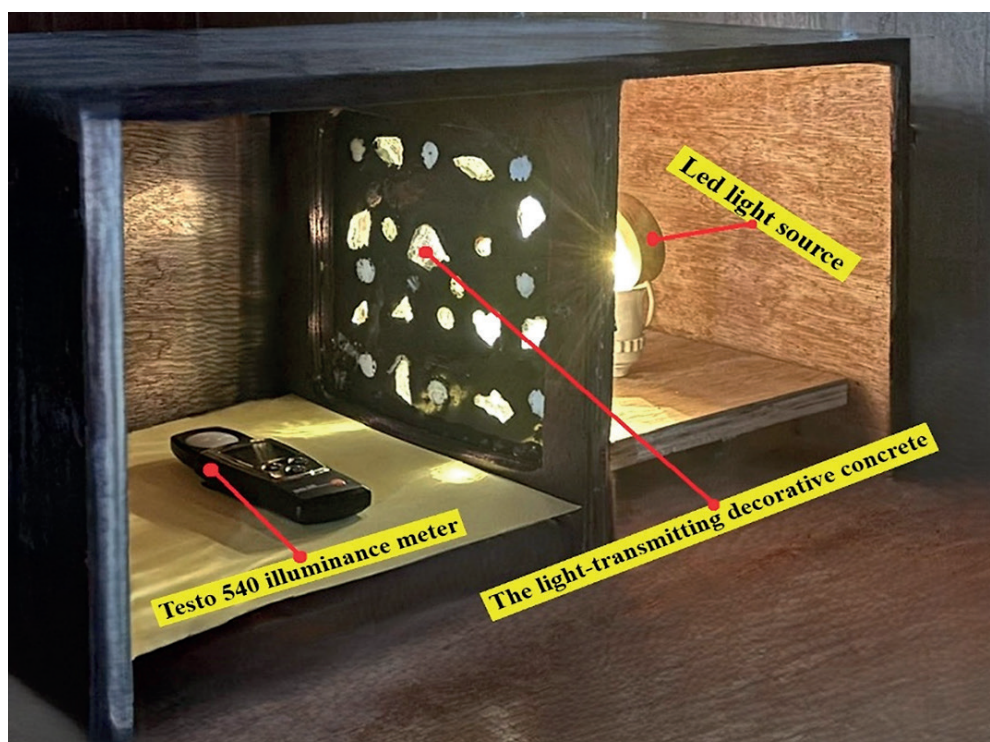


Fig. 16. Experimental setup for determining the light transmittance coefficient of the light-transmitting decorative concrete specimens

RESULTS AND DISCUSSION

The experimental results obtained under laboratory conditions for the concrete mixtures and the hardened specimens of cement-free translucent decorative concrete are presented in Tables 2, 3.

3.1. Effect of fly ash, blast furnace slag, and glass particle content on the properties of concrete mixtures

With an increase in the content of blast furnace slag and a corresponding decrease in the content of fly ash in the binder composition, the color of the concrete mixtures gradually changed from dark gray to light gray and eventually to white. This is attributed to the color characteristics of the raw materials: fly ash has a dark gray color, whereas the blast furnace slag used in this study exhibited a light, nearly white color.

In addition, as the content of glass particles increased from 5% to 20% by mass of binder, significant changes in the properties of the concrete mixtures were observed. The workability, expressed in terms of slump flow, decreased from 25 to 19 cm, and the surface of the specimens became rougher compared to those containing lower amounts of glass particles.

The experimental results indicate that concrete mixtures with higher glass particle content exhibit reduced workability, which adversely affects their ability to fill molds during the forming process.

Furthermore, considering that the average bulk density of the glass particles is approximately 2480 kg/m³, an increase in their content leads to a slight increase in the average density of the concrete mixtures, from 2068 to 2169 kg/m³.

3.2. Properties of “green” light-transmitting decorative concrete

The experimental results presented in Table 3 indicate significant changes in the physical and mechanical properties of green concretes with increasing contents of blast furnace slag and glass particles in the concrete mixtures. Glass particles perform a dual function: they act as coarse aggregates and simultaneously determine the light-transmitting capacity of the product.

As the content of glass particles increased, the compressive strength and flexural tensile strength increased by 24% and 8%, respectively. In addition, the abrasion resistance improved significantly, with the abrasion loss decreasing from 0.51 to 0.30 g/cm², while the water absorption by mass decreased from 8.5% to 7.3%. At the same time, the

Table 2. Properties of concrete mixtures

Parameter	GreCor-01		GreCor-02		GreCor-03		GreCor-04	
	Mean value	Standard deviation	Mean value	Standard deviation	Mean value	Standard deviation	Mean value	Standard deviation
Slump flow diameter (cm)	25	2.1	23	2.2	20	1.5	19	2.5
Average density (kg/m ³)	2068	7.5	2117	6.3	2119	8.2	2169	8.0
Color	Dark gray		Light gray		Grayish white		White	

Table 3. Physical and mechanical properties of the light-transmitting decorative concrete specimens at 28 days

Parameter	GreCor-01		GreCor-02		GreCor-03		GreCor-04	
	Mean value	Standard deviation	Mean value	Standard deviation	Mean value	Standard deviation	Mean value	Standard deviation
Average density (kg/m ³)	2048	4.0	2090	4.2	2110	4.0	2138	4.5
Water absorption (% by mass)	8.5	0.8	8.1	1.0	7.5	0.9	7.3	0.8
Abrasion resistance (g/cm ²)	0.51	0.25	0.48	0.15	0.36	0.2	0.3	0.1
Compressive strength (MPa)	38	2.1	41	2.2	43	2.4	46	2.4
Flexural tensile strength (MPa)	4.9	0.66	5.1	0.85	5.3	0.9	5.4	1.1
Light transmittance coefficient (%)	11.8		15.7		17.2		20.5	
Surface condition	Smooth dark gray surface		Smooth light gray surface		Rough grayish-white surface		Rough white surface	

light transmittance coefficient increased from 11.8% to 20.5% (Fig. 17). Thus, the glass aggregate plays a key role in determining both the strength characteristics and the light-transmitting capacity of the specimens.

In addition, the water absorption by mass at 28 days of curing of the green decorative concrete specimens decreased significantly, by 15.6%, as the content of glass particles increased from 5% to 20% by mass of binder. This trend can be explained by the low water absorption capacity of glass particles [19].

The compressive strength and flexural tensile strength of the obtained light-transmitting decorative concrete specimens are presented in Fig. 18.

As shown in Fig. 18, when the compressive strength of the light-transmitting decorative concrete specimens increased from 38 to 46 MPa, the flexural tensile strength also increased from 4.9 to 5.4 MPa at the age of 28 days. The ratio between flexural tensile strength and compressive strength ranged from 1/8 to 1/9, which is comparable to the relationship between

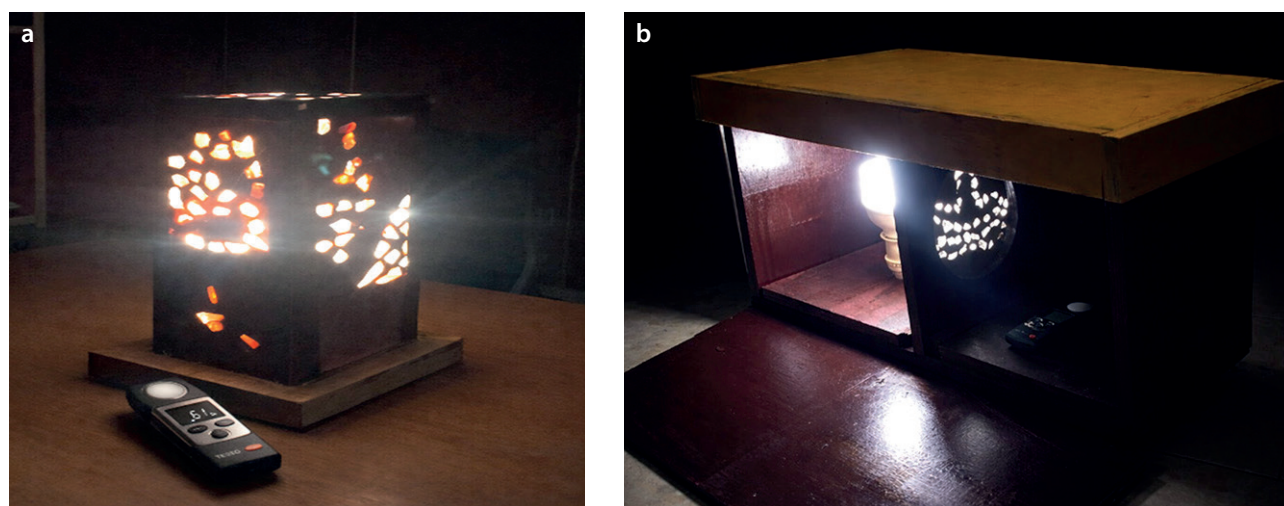


Fig. 17. Measurement of the light transmittance of light-transmitting decorative concrete products: a– Measurement of the light transmission of a table lamp; b – Measurement of the light transmission of a thin sheet product

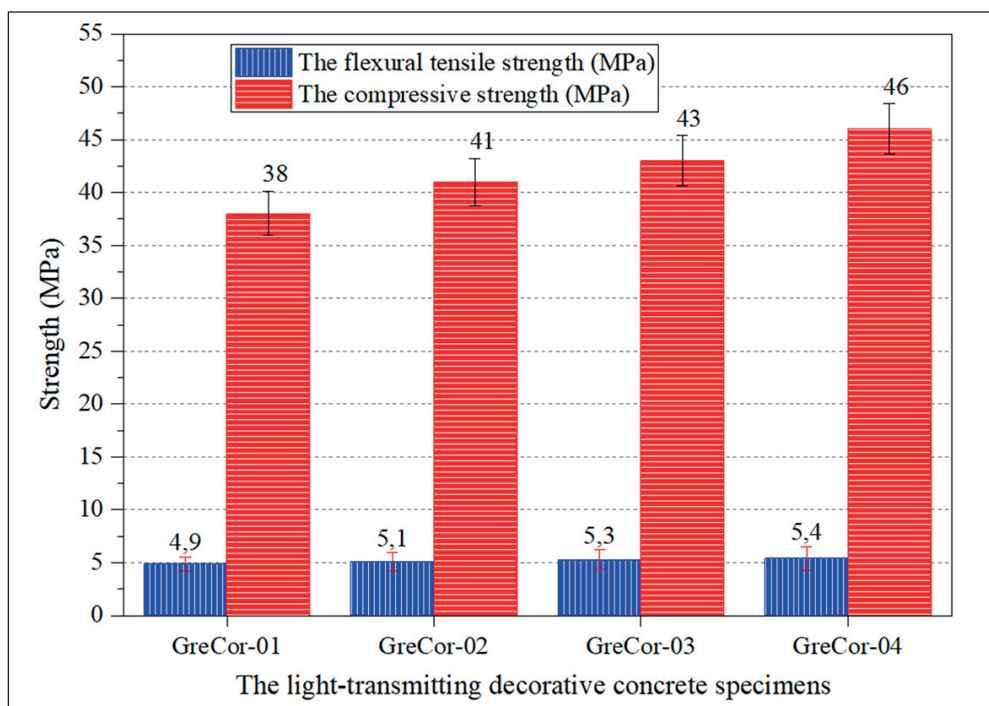


Fig. 18. Compressive and flexural tensile strengths of light-transmitting decorative concrete specimens at 28 days

these strength parameters in conventional cement-based concretes.

In addition, the experimental studies demonstrated that translucent decorative products made of green concrete and crushed glass waste are capable of transmitting light from one surface to the other through the glass inclusions. The transmitted light is not concentrated into intense light beams but is softly diffused, creating a harmonious visual effect. This feature makes such products suitable for both interior and exterior decorative applications [20].

The light-transmitting capacity of the decorative products mainly depends on the content and size of the glass particles, as well as on the color of the glass and the degree of coverage of the glass particles by the cement-free binder matrix. The light-transmitting decorative concrete specimens containing transparent or light-colored glass provide a more pronounced light-transmitting effect compared with those containing dark-colored glass particles. At the same time, controlling the process of placing the concrete mixture into the molds to prevent the binder paste from adhering to the surface of the glass particles is an important factor in maintaining the light-transmitting efficiency of the product.

Compared with traditional light-transmitting materials such as art glass or translucent stone, the “green” decorative concrete does not provide full transparency but rather produces an effect of soft, diffused, and deep illumination. This characteristic makes such products suitable for decorative architectural applications in both interiors and exteriors, preventing glare and creating a comfortable visual perception of light [21] (Fig. 19).

Overall, the obtained results indicate that optimizing the content of blast furnace slag and glass waste not only enhances the mechanical properties but also improves the light-transmitting capacity of the material, while simultaneously ensuring that both technical and aesthetic requirements for translucent decorative concrete products are satisfied.

3.3. Evaluation of the application potential of the “green” decorative concrete in construction

The research results indicate that translucent decorative products made of green concrete and glass particles have a high potential for practical application in construction, particularly in interior and exterior finishing works. With a compressive strength of up to 46 MPa and a light transmittance coefficient of up to 20.5%, such products simultaneously provide the required mechanical performance and a pronounced aesthetic lighting effect.

These products can be used as decorative cladding panels, translucent partitions, wall decorative panels, signage elements, as well as accent architectural components in residential buildings, hotels, restaurants, schools, and public spaces (Fig. 20 and 21).

Compared with imported light-transmitting materials, this product has a cost advantage due to the use of locally available waste materials such as fly ash, blast furnace slag, and crushed glass.

In addition, the use of glass cullet and large-volume industrial wastes for the production of decorative products contributes to reducing the consumption of natural resources and lowering CO₂ emissions compared with imported light-transmitting materials or conventional decorative materials [22]. This represents an important advantage of such products under current conditions, where increasing priority is given in construction to environmentally friendly and durable materials.

• Potential applications of the “green” light-transmitting decorative concrete:

- Possibility of manufacturing structural elements that simultaneously perform load-bearing and enclosure functions due to the high strength of the material;
- Possibility of using the material as an element of natural lighting in buildings, as it possesses good light-transmitting capacity;



Fig. 19. Examples of products made from the light-transmitting decorative concrete



Fig. 20. Artwork "Spring in the Leaves"

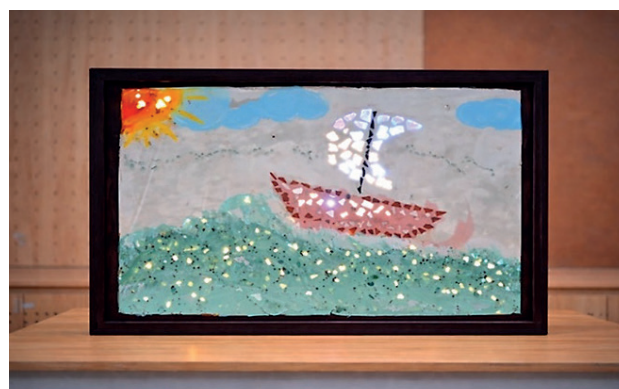


Fig. 21. Artwork "Favorable Wind"

- Possibility of application in interior and exterior finishing works in combination with traditional materials, enabling the creation of unique architectural lighting effects;
- Possibility of producing decorative partition walls.

However, in order to expand the application field of decorative products made from cement-free concrete, further studies are required to optimize the manufacturing technology, improve surface quality control, reduce the tendency for crack formation, and evaluate the durability of products under different service conditions, particularly in humid environments and outdoor applications.

CONCLUSION

Based on the experimental results of the research, the following conclusion can be drawn:

1. Cement-free "green" concrete, produced using fly ash, blast furnace slag, and glass particles, can be applied in the manufacture of translucent decorative products, ensuring shape stability, relatively uniform surface quality, and mechanical strength meeting practical service requirements.
2. Glass particles incorporated into the "green" concrete matrix allow light to pass through the material,

creating a soft diffused lighting effect suitable for both interior and exterior decorative applications.

3. The light-transmitting capacity mainly depends on the content, size, and color of glass particles, as well as the degree to which these particles are covered by the binder matrix. Transparent and light-colored glass provides a more pronounced lighting effect compared with darker-colored glass.

4. The use of glass waste, fly ash, and blast furnace slag contributes to reducing natural resource consumption and CO₂ emissions, which is consistent with the development direction of sustainable construction materials and the principles of the circular economy.

5. The "green" light-transmitting decorative concrete demonstrates high application potential in both interior and exterior architectural design, as well as promising prospects for further development, as it represents an environmentally friendly decorative material.

Further research is recommended to evaluate the durability, crack resistance, and color stability of decorative products made from cement-free concrete under different service conditions, particularly in outdoor environments. Such studies will provide a scientific basis for industrial-scale production and practical application of these materials.

REFERENCES

1. Scrivener K.L., John, V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*. 2018;114:2–26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
2. Tang Van Lam, Vo Dinh Trong, Translucent concrete made from fly ash and glass waste. *Vietnam Journal of Science and Technology*. 2024;7:36–37.
3. Chernikova T.Yu. Transparent concrete: features of the material and prospects for its use. *Collection of scientific papers based on the results of the International scientific and technical conf. of young scientists of BSTU named after VG Shukhov*. Belgorod: BSTU Publishing House, 2019:1358–1361.
4. Pacheco-Torga F., Jalali S. Reusing waste glass in construction materials. *Construction and Building Materials*. 2010;24(11):2149–2158. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.020>
5. Tang Van Lam, Pham Quang Dao, Tran Thi Kim Phung. *Potential for recycling waste glass in the production of "translucent green concrete" in Vietnam*; 2025. Available at: <https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/kiem-nang-tai-che-kinh-phe-thai-trong-san-xuat-be-tong-xanh-truyen-sang-tai-viet-nam.html> (accessed date 05.05.2026)

6. Tang Van Lam, Pham Quang Dao, Tran Thi Kim Phung, Lai Ngoc Hung. Utilization of waste glass in manufacturing environmentally friendly translucent decorative concrete products toward a sustainable future. *TNU Journal of Science and Technology*; 2025.
7. Novikova A.M., Eropov L.A. Modern types of concrete for finishing and for structures. Collection: Days of Science of Students of the Institute of ASE-2021: *Collection of scientific papers based on the results of scientific and practical conference*. Vladimir: Publishing house of VISU; 2021.
8. Tang Van Lam, Bulgakov B.I. Feasibility of using ash and slag waste and rice husk ash in geopolymer concretes for the construction of structures in Vietnam. *BDU Journal of Science & Technology*. 2021;03, No. 01:26–40.
9. Liu H.Q., Chen X. Influence of Aggregate on Workability of Self-Compacting Concrete. *Advanced Materials Research*. 2012;482–484:1101–1104. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.482-484.1101>
10. Bentur A., Mindess S. *Fibre reinforced cementitious composites*. CRC Press; 2007.
11. Altomate A., Alatshan F., Jadan M., Mashiri F. Experiment study of light transmitting concrete. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. 2016;7(3–4):133–139
12. Nguyen Duc Tuan, Huynh Phuong Nam, Nguyen Van Huong, Nguyen Minh Ha. Study on Mix Proportion Design of Mineral Aggregate Concrete and Environmentally Friendly Concrete for Application in Translucent Concrete Production. *Journal of Science and Technology – The University of Danang*, 2022;20:8.
13. TCVN 12209:2018. Self-compacting concrete – Specification and test method.
14. TCVN 3115:2022. Hardened concrete – Test method for density.
15. TCVN 7744:2013. Terrazzo tiles.
16. TCVN 3113:2022. Hardened concrete – Test method for water absorption
17. TCVN 3118:2022. Concrete – Method for determination of compressive strength.
18. TCVN 3119:2022. Hardened concrete – Test method for flexural tensile strength.
19. Duong Thanh Qui, Phan Van Quynh, Pham Huu Thien. Study on the Influence of Dispersed Fibers on the Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete. *Journal of Materials and Construction – Ministry of Construction*. 2025;15(01):28–33. <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2025.700>
20. Tang L.V., Thanh L.X., Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V., Bazhenova S.I. Light-transmitting concrete using ash and slag, and glass waste. *Nanotechnologies in Construction*. 2025;17(4):475–484. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2025-17-4-475-484>
21. Du Tan. Waste glass powder as cement replacement in concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2014;12(11):468–477. <https://doi.org/10.3151/jact.12.468>
22. Nguyen M.H., Huynh P.N. *CO₂ Emission Reduction Efficiency of Light-Transmitting Concrete and Influencing Factors*, *Journal of Science and Technology – The University of Danang*, 2025;23(6A):42–47. [https://doi.org/10.31130/ud-jst.2025.23\(6A\).149](https://doi.org/10.31130/ud-jst.2025.23(6A).149)

ADDITIONAL INFORMATION

The authors declare that generative artificial intelligence technologies and technologies based on artificial intelligence were not used in the preparation of the article.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tang Van Lam – Cand. Sci. (Eng.), teacher-researcher, Hanoi University of Mining and Geology, 18 Pho Vien, Dong Ngac, Hanoi, 100000, Vietnam, tangvanlam@humg.edu.vn, <https://orcid.org/0000-0002-4857-835X>

Sang Nguyen – Cand. Sci. (Eng.), teacher-researcher, Thanh Dong University, 3 Vu Cong Dan, Tu Minh District, Hai Phong, 180000, Vietnam, nguyensang@thanhdong.edu.vn, <https://orcid.org/0009-0007-7828-7899>

Boris I. Bulgakov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Building Materials Science at the National Research Moscow State University of Civil Engineering, 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russian Federation, BulgakovBI@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4737-8524>

Nadezhda A. Lukyanova – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Building Materials Science at the National Research Moscow State University of Civil Engineering, 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russian Federation, GalcevaNA@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2014-6739>

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Tang Van Lam – scientific management; final conclusion.

Sang Nguyen – research concept; writing the draft.

B.I. Bulgakov – scientific management; final conclusion.

N.A. Lukyanova – follow-on revision of the text.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 14.04.2026; approved after reviewing xx.xx.2026; accepted for publication xx.xx.2026.

Возможность использования «зелёного» бетона и отходов стекла для изготовления светопропускающих декоративных изделий

Танг Ван Лам¹ , Нгуен Санг² , Борис Игоревич Булгаков³ , Надежда Алексеевна Лукьянова^{3*} 

¹ Ханойский горно-геологический университет (HUMG), 18 Фо Виен, Донг Нгак, Ханой, 100000, Вьетнам

² Университет Тхань Донг, 3 Ву Конг Дан, район Ту Минь, Хайфон, 180000, Вьетнам

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Российская Федерация

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: galcevanadezda@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Объем промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов, образующихся ежегодно во Вьетнаме, постоянно увеличивается, в то время как потребность в строительных материалах становится все более актуальной. В данном исследовании оценивается возможность использования бесцементного «зеленого» бетона на основе золы-уноса тепловых электростанций, доменного шлака и отходов стекла для изготовления светопропускающих декоративных изделий. **Материалы и методы.** В работе применялись методы исследований, соответствующие действующим вьетнамским стандартам, а также специально разработанная экспериментальная установка для определения коэффициента светопропускания образцов декоративных «зеленых» бетонов. Для получения бесцементного вяжущего были использованы зола-уноса ТЭС «Фа Лай» и тонкомолотый доменный гранулированный шлак металлургического завода «Хоа Фат» в сочетании с активизатором, состоящим из смеси водных растворов NaOH и Na₂SiO₃ в соотношении 1:1. В состав бетонных смесей также входили стекольные отходы разного цвета, измельченные до частиц размером 5,0–20,0 мм, декоративный мелкий заполнитель фракции 2,5–5,0 мм, суперпластифицирующая добавка под торговым названием MVN-SR производства компании «Silkroad Ханой». Для дисперсного армирования декоративных светопропускающих изделий с целью повышения их трещиностойкости и улучшения механических свойств использовались синтетические полипропиленовые волокна в виде отдельных филаментов и стальная сетчатая фибра. Кроме того, для придания декоративным изделиям требуемой цветовой гаммы и эстетических характеристик применялись различные пигментные порошки красного, желтого, синего и других цветов. **Результаты и обсуждения.** Были разработаны четыре состава с содержанием отходов стекла от 5 до 20% мас. с целью анализа их влияния на удобоукладываемость бетонной смеси, а также физико-механические свойства и способность декоративных изделий пропускать свет. Полученные результаты показали, что при увеличении содержания стекла удобоукладываемость бетонных смесей по расплыву конуса снизилась с 25 до 19 см, тогда как их средняя плотность увеличилась с 2068 до 2169 кг/м³. В возрасте твердения 28 суток прочность бетонных образцов на сжатие составила 38–46 МПа, прочность на растяжение при изгибе – не менее 4,9 МПа, износостойкость 0,3–0,51 г/см³, водопоглощение по массе от 7,3 до 8,5%, а коэффициент светопропускания повысился с 11,8 до 20,5%. **Заключение.** Полученные светопропускающие декоративные изделия подходят для внутренней и наружной отделки и одновременно обеспечивают требуемые эксплуатационные характеристики, а также создают внутри помещений эффект мягкого рассеивания света. Кроме того, использование крупнотоннажных промышленных отходов способствует снижению потребления природных ресурсов и выбросов углекислого газа, что подтверждает потенциал использования разработанного декоративно-отделочного материала для усиления архитектурной выразительности интерьеров жилых и общественных зданий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: «зеленый» светопропускающий бетон, стекольные отходы, декоративные изделия, коэффициент светопропускания

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ НАУЧНОЙ РАБОТЫ, РЕЗУЛЬТАТОМ КОТОРОЙ СТАЛА ПУБЛИКАЦИЯ: Содержание данной статьи является частью результатов научно-исследовательского проекта по инкубации научно-технологической продукции Ханойского горно-геологического университета (HUMG) на 2025 год «Разработка светопропускающих декоративных бетонных изделий с использованием стеклянных отходов и дисперсного армирования» (код проекта: DAUT.01.2005)

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают искреннюю благодарность лаборатории Ханойского горно-геологического университета, предоставленной для реализации данного проекта.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Лам Танг Ван, Нгуен Санг, Булгаков Б.И., Лукьянова Н.А. Возможность использования «зеленого» бетона и отходов стекла для изготовления светопропускающих декоративных изделий. *Нанотехнологии в строительстве*. 2026;18(3):379–392. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2026-18-3-379-392>. – EDN: UFUZGU.

The potential of using «green» concrete and waste glass in the manufacture of light-transmitting decorative products

Tang Van Lam¹ , Nguyen Sang² , Boris I. Bulgakov³ , Nadezhda A. Lukyanova^{3*} 

¹ Hanoi University of Mining and Geology (HUMG) (18, Pho Vien, Dong Ngac, Hanoi, 100000, Vietnam)

² Thanh Dong University, 3 Vu Cong Dan, Tu Minh District, Hai Phong, 180000, Vietnam

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, Russian Federation

* Corresponding author: e-mail: galcevanadezda@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The volume of industrial, agricultural, and household waste generated annually in Vietnam has been steadily increasing, while the demand for building materials is growing. This study evaluates the feasibility of using cement-free "green" concrete based on thermal power plant fly ash, blast furnace slag, and glass waste to produce translucent decorative elements. **Materials and methods.** The study used research methods that comply with current Vietnamese standards, as well as a specially developed experimental setup to determine the light transmittance coefficient of decorative "green" concrete samples. Cement-free binders were produced using fly ash from the Pha Lai Thermal Power Plant and finely ground granulated blast furnace slag from the Hoa Phat Steel Plant, combined with an activator consisting of a 1:1 mixture of aqueous solutions of NaOH and Na₂SiO₃. The concrete mixtures also included glass waste of various colors, crushed to particles sized 5.0–20.0 mm, decorative fine aggregate with a fraction of 2.5–5.0 mm, and a superplasticizing admixture under the trade name MVN-SR manufactured by Silkroad Hanoi. Synthetic polypropylene fibers in the form of individual filaments and steel mesh fiber were used to provide dispersed reinforcement for decorative translucent products to improve their crack resistance and mechanical properties. Additionally, various pigment powders in red, yellow, blue, and other colors were used to impart the desired color range and aesthetic properties to the decorative products. **Results.** Four compositions with waste glass contents ranging from 5 to 20% by weight were developed to analyze their effect on the workability of concrete mixes, as well as the physical and mechanical properties and light transmittance of decorative products. The obtained results showed that with an increase in the glass content, the workability of concrete mixes according to the cone flow decreased from 25 to 19 cm, while their average density increased from 2068 to 2169 kg/m³. After curing for 28 days, the compressive strength of concrete samples was 38–46 MPa, tensile strength in bending was at least 4.9 MPa, wear resistance was 0.3–0.51 g/cm³, water absorption by weight was from 7.3 to 8.5%, and the light transmittance coefficient increased from 11.8 to 20.5%. **Conclusion.** The resulting light-transmitting decorative products are suitable for interior and exterior decoration, simultaneously providing the required performance characteristics and creating a soft light diffusion effect indoors. Furthermore, the use of high-volume industrial waste helps reduce natural resource consumption and carbon dioxide emissions, confirming the potential of this decorative finishing material to enhance the architectural expression of residential and public building interiors.

KEYWORDS: "green" light-transmitting concrete, waste glass, decorative products, light transmittance coefficient

SOURCES OF FUNDING FOR THE SCIENTIFIC WORK THAT RESULTED IN THE PUBLICATION: The content of this article is partially derived from the university-level scientific and technological product incubation project for 2025 at Hanoi University of Mining and Geology (HUMG), entitled "Development of Translucent Decorative Concrete Products Using Glass Waste and Dispersed Fiber Reinforcement" (Project Code: DAUT.01.2005).

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors sincerely acknowledge the laboratory facilities of Hanoi University of Mining and Geology (HUMG), which supported the implementation of this research project.

FOR CITATION:

Lam Tang Van, Nguyen Sang, Bulgakov B.I., Lukyanova N.A. The potential of using «green» concrete and waste glass in the manufacture of light-transmitting decorative products. *Nanotechnologies in construction*. 2026;18(3):379–392. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2026-18-3-379-392>. – EDN: UFUZGU.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы развитие «зеленых» строительных материалов и продвижение модели экономики замкнутого цикла стали важным направлением политики многих стран, включая Вьетнам, с целью

снижения выбросов парниковых газов, экономии природных ресурсов и ограничения загрязнения окружающей среды. Производство строительных материалов, особенно цемента и традиционного бетона, рассматривается как один из значительных источников выбросов CO₂, при этом сопровождается

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

высоким потреблением невозобновляемых минеральных ресурсов [1]. В этих условиях исследования «зеленых» бетонов, использующих бесцементные вяжущие или пониженное содержание цемента в сочетании с использованием крупнотоннажных промышленных отходов, таких как зола-унос тепловых электростанций и металлургические шлаки, вызывают все возрастающий интерес со стороны научного сообщества и производственной практики [2, 3].

Параллельно с проблемой выбросов при производстве традиционных строительных материалов объем стекловых отходов, образующихся в результате строительной деятельности, реконструкции зданий и бытового потребления, постоянно увеличивается, особенно в крупных городах. Стекло является материалом, трудно поддающимся разложению, длительно сохраняющимся в природной среде и создающим значительную нагрузку на систему утилизации твердых отходов при отсутствии их эффективной переработки [4]. Вместе с тем благодаря химической стабильности, высокой прочности и хорошей светопропускной способности стекловых отходы обладают значительным потенциалом повторного использования в качестве функционального материала в строительных и декоративных изделиях, а не только как отход, подлежащий утилизации (рис. 1).

Для внутренней и наружной отделки зданий светопропускающие материалы, такие как художественное стекло, светопрозрачный камень и специальные композиционные материалы, становятся все более востребованными благодаря высокой эстетической ценности и способности создавать выразительные световые эффекты. Однако большинство таких изделий в настоящее время отличается высокой стоимостью, энергоемким производственным процессом и недостаточной экологической устойчивостью. В то же время исследования светопропускающего бетона или бетона с использованием стеклянного заполнителя в основном сосредоточены на архитектурных конструкциях или облицовочных панелях крупного формата, тогда как исследованиям, ориентированным на декоративные изделия среднего и малого размера, одновременно предъявляющие требования к их механическим характеристикам, светопропусканию и эстетическим показателям, уделено недостаточное внимание [5].

В частности, для светопропускающих декоративных изделий материал должен не только обеспечивать прочность и эксплуатационную стабильность, но и способствовать рациональному распределению света, формированию гармоничного визуального эффекта и соответствию пространству внутренней и наружной отделки. Сочетание «зеленого» бетона с отходами стекла для изготовления светопропускающих декоративных панно рассматривается как новое

направление, которое одновременно способствует эффективному использованию твердых отходов и расширяет область применения «зеленого» бетона, начиная с конструктивной сферой и заканчивая областью декоративной и архитектурно-художественной отделки [6, 7].

Исходя из изложенных предпосылок, данное исследование направлено на оценку возможности использования бесцементного «зеленого» бетона в сочетании с отходами стекла для изготовления светопропускающих декоративных изделий. В работе рассматриваются вопросы выбора материалов, принципы проектирования состава смеси, технология изготовления и основные характеристики продукции, включая светопропускную способность, механические свойства и потенциал применения



Рис. 1. Декоративные изделия, изготовленные с использованием стекловых отходов: а – декоративный светильник коробчатого типа; б – декоративная облицовочная панель

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

в области внутренней и наружной отделки. Ожидается, что полученные результаты внесут вклад в формирование научных основ с целью разработки долговечных и экологически безопасных декоративных материалов, а также обеспечат более эффективное использование стекольных отходов для производства современных строительных материалов, обладающих большой архитектурной выразительностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Используемые материалы

а) Вяжущее вещество.

В состав вяжущего для получения светопропускающего декоративного бетонного изделия входила смесь золы-уноса ТЭС «Фа Лай» (Phả Lại), соответствующая требованиям вьетнамского стандарта TCVN 10302:2014 «Активная минеральная добавка — зола-унос для бетона, строительных растворов и цемента» (рис. 2), и тонкомолотого доменного



Рис. 2. Зола-унос ТЭС «Фа Лай»

гранулированного шлака металлургического завода «Хоа Фат» (Hòa Phát), соответствующего требованиям стандарта TCVN 11586:2016 «Молотый гранулированный доменный шлак для бетона и строительных растворов» (рис. 3) [8].

б) Заполнители.

В состав использованных заполнителей входили стекольные отходы разных цветов и размеров, полученные с полигонов твердых отходов, которые измельчали до частиц размером 5,0–20,0 мм, а также декоративный мелкий заполнитель фракции 2,5–5,0 мм.

В настоящем исследовании стеклянные частицы выполняли функцию крупного заполнителя и соответствовали требованиям стандарта TCVN 7570:2006 «Заполнители для бетона и строительных растворов. Технические требования» (рис. 4, 5).

Перед использованием измельченные стеклянные частицы промывались и сортировались по цвету и размеру (рис. 6). Их средняя насыпная плотность составляла порядка 2480 кг/м³.



Рис. 3. Тонкомолотый доменный гранулированный шлак металлургического завода «Хоа Фат»

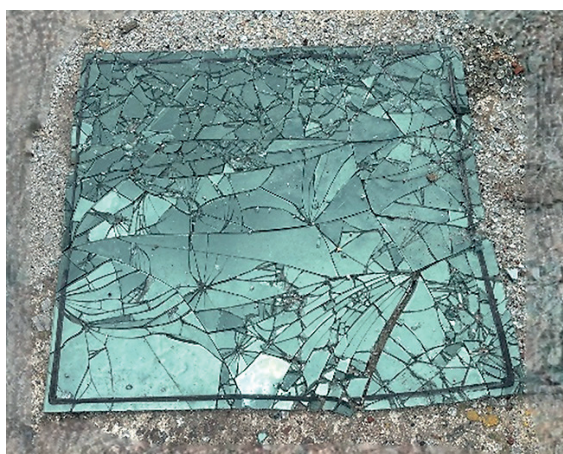


Рис. 4. Стекольные отходы на пункте сбора вторсырья



Рис. 5. Частицы стекольных отходов после дробления

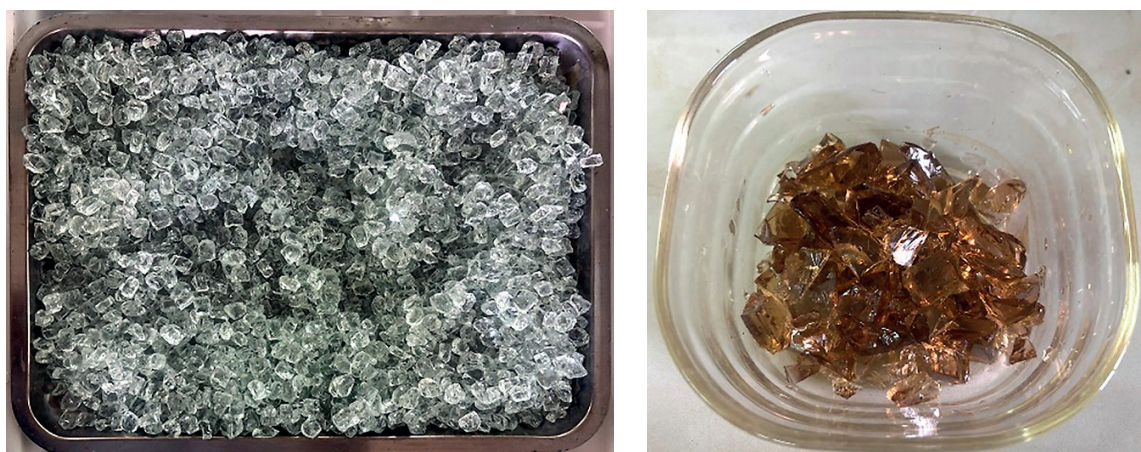


Рис. 6. Стекланные частицы после обработки и сортировки

Декоративный мелкий заполнитель использовался с целью снижения усадки и усиления несущего каркаса изделия. Частицы декоративного мелкого заполнителя получали путем просеивания крупнозернистого желтого песка через сита с размером ячеек от 2,5 до 5,0 мм (рис. 7).

У декоративных бетонных изделий в виде тонких панелей после формования часто наблюдается растрескивание вследствие высокой текучести пластичной связующей суспензии. Поэтому применение мелкозернистого декоративного заполнителя является необходимым. Однако при повышенном содержании заполнителя ухудшаются реологические свойства смеси и ее способность к заполнению формы связующим составом в процессе формования [9].

в) Суперпластифицирующая добавка и активирующий раствор.

В исследовании использовалась суперпластифицирующая добавка под торговым названием MVN-SR производства компании по производству бетонных

добавок «Silkroad Ханой» (SILKROAD HANOI. JSC). Данная добавка относится к высокоэффективным водоредуцирующим добавкам третьего поколения на основе поликарбоксилатов. Плотность водного раствора добавки составляет 1,15 г/см³ при температуре 25 ± 5 °C и соответствует требованиям стандарта TCVN 8826:2024 «Химические добавки для бетона» (рис. 8). В настоящем исследовании суперпластификатор применялся в количестве 1,5% от массы вяжущего для получения пластичной суспензии, обладающей способностью к текучести и самоуплотнению под действием собственного веса при формовании изделий.

Активирующий раствор, использованный в данном исследовании, представлял собой смесь 10 М раствора NaOH и раствора Na₂SiO₃ с соотношением SiO₂/Na₂O = 2,75. Соотношение между 10 М раствором NaOH и раствором Na₂SiO₃ составляло 50:50%.

Использованная смесь суперпластифицированной добавки и активирующего раствора изображена на рисунке 9.



Рис. 7. Декоративный мелкий заполнитель



Рис. 8. Суперпластифицирующая добавка MVN-SR



Рис. 9. Смесь суперпластифицирующей добавки и активирующего раствора

г) Фибра.

Для дисперсного армирования декоративных светопропускающих изделий с целью повышения их трещиностойкости и улучшения механических свойств использовались синтетические полипропиленовые волокна в виде отдельных филаментов и стальная сетчатая фибра. Фибра равномерно распределялась в сырьевой композиции для снижения концентрации локальных напряжений [10] (рис. 10).

д) Вода и пигменты.

Для приготовления бетонной смеси и последующего ухода за бетоном использовалась вода, соответствующая требованиям стандарта TCVN 4506:2012 «Вода для бетона и строительных растворов. Технические требования».

Кроме того, для придания декоративным изделиям требуемой цветовой гаммы и эстетических характеристик в исследовании применялись различные пигментные порошки красного, желтого, синего и других цветов, в зависимости от дизайнерских требований к изделиям (рис. 11).

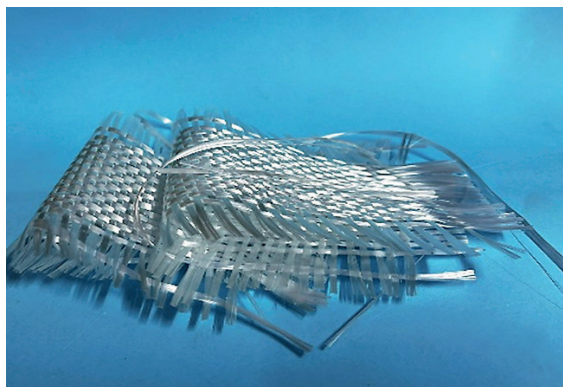


Рис. 10. Фибра для предотвращения трещинообразования

2.2. Состав бетонной смеси и технология получения светопропускающих декоративных изделий

Состав бетонной смеси для получения «зеленого» бетона разрабатывался на основе применения золы-уноса и доменного шлака в качестве основного вяжущего, в сочетании с мелким и крупным заполнителем, водой и химическими добавками для получения высокопластичной смеси, соответствующей требованиям формования декоративных изделий. Содержание стеклянных частиц подбиралось, исходя из требований к эффекту светопропускания и эстетического вида изделий, а не только на основании физико-механических характеристик, как это принято при проектировании состава традиционного конструкционного бетона.

На основании предварительных лабораторных исследований были приняты следующие соотношения исходных материалов в 1 м³ бетонной смеси:



Рис. 11. Декоративный пигментный порошок

- вяжущее вещество — 1000 кг;
- содержание золы-уноса ТЭС и тонкомолотого гранулированного доменного шлака варьировалось от 0 до 1000 кг до достижения общей массы вяжущего в 1000 кг;
- мелкозернистый декоративный заполнитель — 500 кг;
- содержание стеклянных частиц варьировалось как 5, 10, 15 и 20% от массы вяжущего;
- содержание фибры принималось как 5 и 10% от массы вяжущего;
- дозировка суперпластифицирующей добавки составляла 1,5% от массы вяжущего;
- дозировка цветных пигментов составляла 1,0% от массы вяжущего;
- отношение активированный раствор/вяжущее принималось равным 0,25;
- отношение вода затворения/вяжущее принималось равным 0,15.

Составы бетонных смесей для получения «зеленого» бетона представлены в таблице 1.

Технологический процесс изготовления светопропускающих декоративных бетонных изделий осуществлялся по следующим основным этапам:

1. Подготовка форм для изготовления изделий.
2. Подготовка сырьевых материалов.
3. Дозирование компонентов и приготовление бетонной смеси.
4. Разработка декоративного рисунка и размещение стеклянных частиц в формах.
5. Заливка бетонной смеси в формы и формование изделий.
6. Распалубка, уход за изделиями, нанесение защитного клеевого покрытия и окончательная отделка их поверхности.

Зола-унос, доменный шлак, пигментный порошок и добавка предварительно перемешивались в сухом состоянии для обеспечения однородности смеси, после чего добавлялась вода и выполнялось перемешивание до достижения требуемой пластичности смеси. Стеклянные частицы размещались в форме в соответствии с разработанной композицией для создания светопропускающего эффекта и обеспече-

ния эстетической выразительности изделия. После приготовления бетонная смесь аккуратно заливалась в форму с целью минимизировать перекрытие поверхности стеклянных элементов и обеспечить тем самым требуемую светопропускную способность готового изделия [11, 12] (рис. 12, 13).

2.3. Методика испытаний

В настоящем исследовании физико-механические свойства образцов в виде тонких плит различных размеров и толщины (квадратных размером 200х200 мм и 300х300 мм, а также прямоугольных размером 200х300 мм и 300х400 мм с толщиной от 10 до 20 мм) из светопропускающих декоративных «зеленых» бетонов определялись в соответствии с требованиями стандарта TCVN 7744:2013 «Терраццо-плитка».

а) Определялись следующие нормированные в указанном стандарте показатели:

- определение распыла конуса бетонных смесей проводилось с использованием стандартного усеченного конуса в соответствии с TCVN 12209 : 2018 [13] (рис. 14);
- средняя плотность светопропускающих «зеленых» бетонов определялась в соответствии с TCVN 3115:2022 [14];
- водопоглощение бетонов определялось в соответствии с TCVN 7744:2013 [15];
- износостойкость бетонов определялась в соответствии с TCVN 3113:2022 [16];
- прочность на сжатие в различные сроки твердения определялась на образцах-кубах размером 100×100×100 мм в соответствии с TCVN 3118:2022 [17];
- прочность на растяжение при изгибе в 28-суточном возрасте определялась на образцах-призмах размером 100×100×400 мм в соответствии с TCVN 3119:2022 [18].

б) Модель для определения коэффициента светопропускания экспериментального образца бетона.

Коэффициент светопропускания декоративных материалов используется для оценки способности

Таблица 1. Составы бетонных смесей

Бетонная смесь	Содержание компонентов, кг									Итого
	Зола-унос ТЭС	Доменный шлак	Стеклянные частицы	Мелкозернистый декоративный заполнитель	Фибра	Суперпластифицирующая добавка	Активирующий раствор	Цветные пигменты	Вода	
ЗБ - 01	1000	0	50	500	100	15	250	10	150	2075
ЗБ - 02	600	400	100	500	100	15	250	10	150	2125
ЗБ - 03	400	600	150	500	50	15	250	10	150	2125
ЗБ - 04	0	1000	200	500	50	15	250	10	150	2175



Рис. 12. Деревянные формы для формования изделия



Рис. 13. Подготовка форм и заливка бетонной смеси для формования изделий

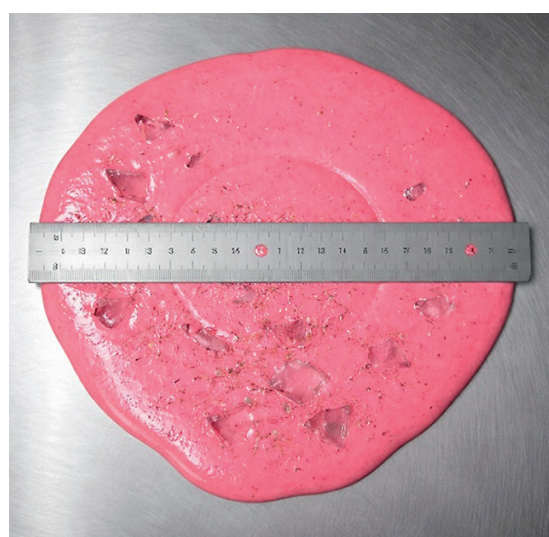


Рис. 14. Измерение расплыва конуса бетонных смесей

света проходить через материал под воздействием падающего источника света.

В данном исследовании коэффициент светопропускания определялся как отношение интенсивности света, прошедшего через образец материала (в люксах), к начальной интенсивности света, падающего на поверхность образца (в люксах).

Для светопропускающих бетонных материалов коэффициент светопропускания отражает эффективность светопропускания светопропускающих компонентов (таких как частицы стекла или прозрачные фазы), распределенных в бетонной матрице. Значение этого коэффициента зависит от структуры материала, соотношения и размера светопропускающих компонентов, а также толщины образца.

В работе интенсивность светопропускания разработанных декоративных «зеленых» бетонов определялась с помощью светоизмерителя (иллюминометра) Testo 540 (Германия) (рис. 15).

В данном исследовании экспериментальная установка, используемая для оценки светопропускания декоративных бетонных изделий, была разработана и изготовлена в лабораторных условиях. Она была выполнена в виде темного ящика, чтобы минимизировать влияние внешнего окружающего света на результаты измерений (рис. 16).

Коэффициент светопропускания бетонных образцов (Ψ) определяется отношением интенсивности света (I , люкс), прошедшего через образец материала, к начальной интенсивности света (I_0 , люкс), падающего на поверхность образца по формуле:

$$\Psi = I/I_0 \times 100\%,$$

где Ψ – коэффициент светопропускания, %; I – интенсивность света, прошедшего через исследуемый образец, люкс; I_0 – начальная интенсивность света, падающего на поверхность образца, люкс.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальные результаты, полученные в лабораторных условиях для бетонных смесей и полученные в результате их затвердевания образцов бесцементных светопропускающих декоративных бетонов, представлены в таблицах 2 и 3.

3.1. Влияние содержания золы-уноса, доменного шлака и стеклянных частиц на свойства бетонных смесей

С увеличением содержания доменного шлака и соответствующим снижением содержания золы-уноса в составе вяжущего цвет бетонных смесей постепенно изменялся от темно-серого к светло-серому и далее к белому. Это обусловлено цветовыми характеристиками сырьевых компонентов: зола-унос имеет темно-серый цвет, тогда как использованный доменный шлак отличался светлым, почти белым цветом. Кроме того, при увеличении содержания стеклянных частиц с 5 до 20% от массы вяжущего наблюдались существенные изменения свойств бетонных смесей: удобоукладываемость по распылу конуса снижалась с 25 до 19 см, а поверхность об-



Рис. 15. Измеритель освещенности Testo 540 (Германия)

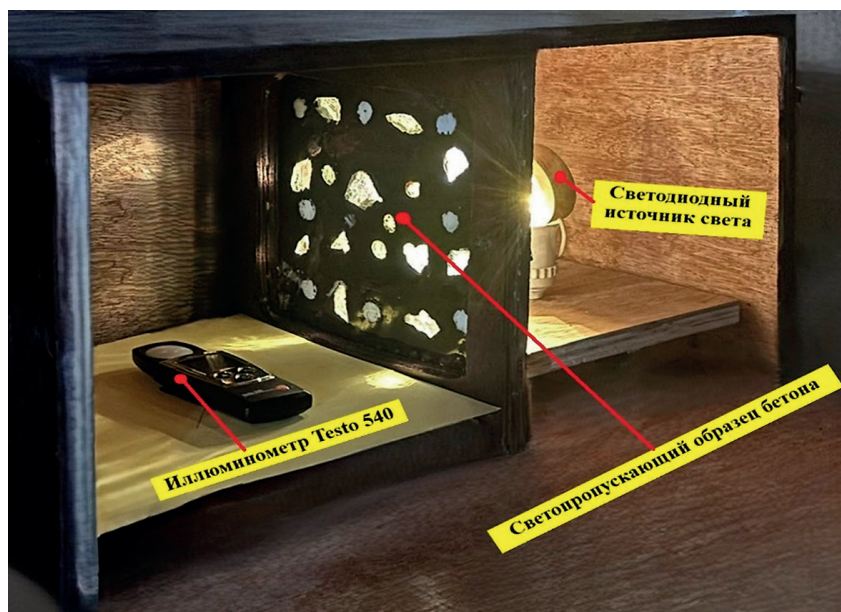


Рис. 16. Экспериментальная установка для определения коэффициента светопропускания образцов декоративных «зелёных» бетонов

Таблица 2. Показатели бетонных смесей

Показатели	ЗБ - 01		ЗБ - 02		ЗБ - 03		ЗБ - 04	
	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение
Диаметр расплыва конуса, см	25	2,1	23	2,2	20	1,5	19	2,5
Средняя плотность, кг/м ³	2068	7,5	2117	6,3	2119	8,2	2169	8,0
Цвет	Темно-серый		Светло-серый		Серо-белый		Белый	

Таблица 3. Физико-механические показатели образцов из светопропускающих «зелёных» бетонов в 28-суточном возрасте

Показатели	ЗБ - 01		ЗБ - 02		ЗБ - 03		ЗБ - 04	
	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение
Средняя плотность, кг/м ³	2048	4,0	2090	4,2	2110	4,0	2138	4,5
Водопоглощение, % мас.	8,5	0,8	8,1	1,0	7,5	0,9	7,3	0,8
Износостойкость, г/см ²	0,51	0,25	0,48	0,15	0,36	0,2	0,3	0,1
Прочность на сжатие, МПа	38	2,1	41	2,2	43	2,4	46	2,4
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	4,9	0,66	5,1	0,85	5,3	0,9	5,4	1,1
Коэффициент светопропускания, %	11,8		15,7		17,2		20,5	
Состояние поверхности	Гладкая поверхность темно-серого цвета		Гладкая поверхность светло-серого цвета		Шероховатая поверхность серо-белого цвета		Шероховатая поверхность белого цвета	

разцов становилась более шероховатой по сравнению с образцами, содержащими меньшее количество стеклянных частиц.

Полученные экспериментальные результаты показали, что бетонные смеси с повышенным содержанием стеклянных частиц обладают меньшей удобоукладываемостью, что снижает их способность к заполнению формы при формования изделий.

Кроме того, учитывая, что средняя насыпная плотность стеклянных частиц составляет порядка 2480 кг/м³, увеличение их содержания приводит к незначительному росту средней плотности бетонных смесей с 2068 до 2169 кг/м³.

3.2. Свойства светопропускающих декоративных изделий из «зеленого» бетона

Экспериментальные результаты, представленные в таблице 3, показывают значительные изменения физико-механических свойств «зеленых» бетонов при увеличении содержания доменного шлака и стеклянных частиц в составе бетонных смесей. Стеклянные частицы выполняют двойную функцию: служат круп-

ным заполнителем и одновременно определяют светопропускную способность изделия. При увеличении содержания стеклянных частиц прочности на сжатие и на растяжение при изгибе возрастали, соответственно, на 24% и на 8%, износостойкость ощутимо улучшалась с 0,51 до 0,3 г/см², водопоглощение по массе снижалось с 8,5 до 7,3%, а коэффициент светопропускания увеличивался с 11,8 до 20,5% (рис. 17). Таким образом, стеклянный заполнитель играет ключевую роль, определяя как прочностные характеристики, так и светопропускающую способность образцов.

Кроме того, водопоглощение по массе в возрасте 28 суток твердения образцов из «зеленых» декоративных бетонов заметно, на 15,6% снижалось при увеличении содержания стеклянных частиц с 5 до 20% от массы вяжущего. Данную тенденцию можно объяснить низким водопоглощением стеклянных частиц [19].

Прочности на сжатие и на растяжение при изгибе образцов из полученных светопропускающих декоративных бетонов представлены на рисунке 18.

На рисунке 18 видно, что при увеличении прочности образцов на сжатие с 38 до 46 МПа прочность

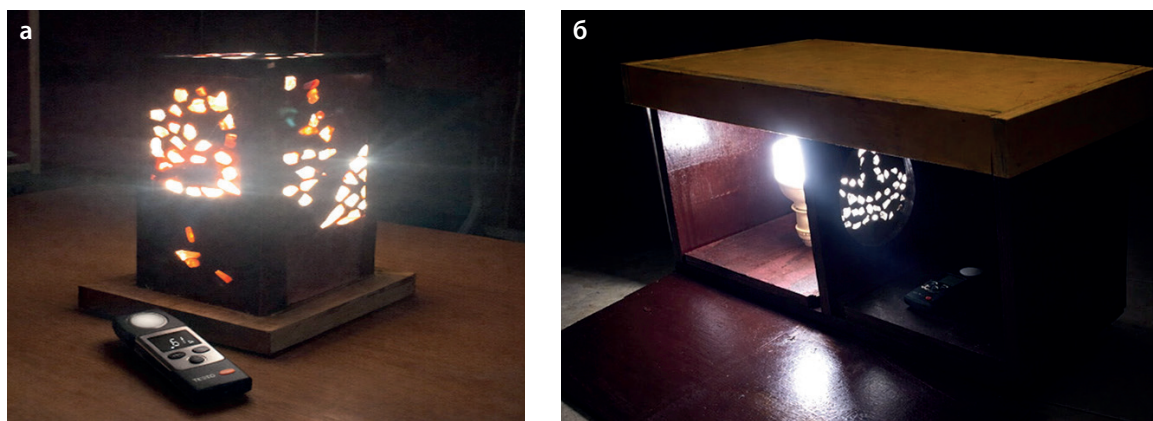


Рис. 17. Измерение светопропускания полупрозрачных декоративных бетонных изделий: а – измерение светопропускания настольной лампы; б – измерение светопропускания тонкого листового изделия

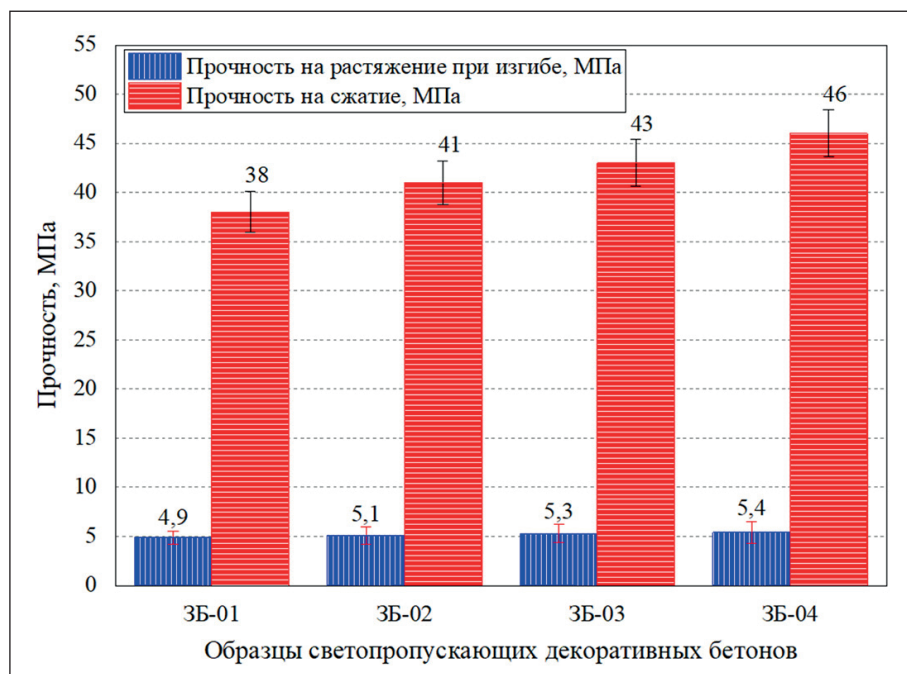


Рис. 18. Прочности на сжатие и на растяжение при изгибе образцов из светопропускающих декоративных бетонов в возрасте 28 суток

при изгибе также возрастает – с 4,9 до 5,4 МПа. Соотношение между прочностью при изгибе и прочностью на сжатие колеблется в пределах от 1/8 до 1/9, что сопоставимо с соотношением указанных прочностных показателей у традиционных цементных бетонов.

Кроме того, экспериментальные исследования показали, что светопропускающие декоративные изделия, изготовленные из «зеленых» бетонов и измельченных стеклянных отходов, обладают способностью пропускать свет с одной поверхности на другую через стеклянные включения. Проходящий свет не концентрируется в виде интенсивных световых пучков, а мягко рассеивается, создавая гармоничный визуальный эффект, что делает такие изделия пригодными для внутренней и наружной декоративной отделки [20].

Светопропускающая способность декоративных изделий в основном зависит от содержания и размера стеклянных частиц, а также от цвета стекла и степени покрытия его частиц бесцементным вяжущим раствором. Образцы с использованием прозрачного или светлого стекла обеспечивают более выраженный светопропускающий эффект по сравнению с образцами, содержащими стекло темных оттенков. Одновременно контроль процесса укладки бетонной смеси в форму с целью предотвращения налипания ее растворной составляющей на поверхность стеклянных частиц является важным фактором для сохранения эффективности светопропускания изделия.

По сравнению с традиционными светопропускающими материалами, такими как художественное



Рис. 19. Некоторые изделия из светопропускающего бетона

стекло или светопроницаемый камень, декоративный «зеленый» бетон не обеспечивает полной прозрачности, а формирует эффект мягкого, рассеянного и глубинного освещения. Данная особенность делает такие изделия пригодными для декоративного оформления интерьеров и экстерьеров, предотвращая ослепляющий эффект и создавая комфортное визуальное восприятие света [21] (рис. 19).

В целом полученные результаты показывают, что оптимизация содержания доменного шлака и стеклянных отходов позволяет не только повысить механические характеристики, но и улучшить светопропускную способность материала, одновременно обеспечивая выполнение как технических, так и эстетических требований к светопропускающим декоративным бетонным изделиям.

3.3. Оценка потенциала применения декоративного «зеленого» бетона в строительстве

Результаты исследования показывают, что светопропускающие декоративные изделия из «зеленых» бетонов и стеклянных частиц обладают высоким потенциалом практического применения в строитель-

стве, особенно в области внутренней и наружной отделки. При прочности на сжатие до 46 МПа и коэффициенте светопропускания до 20,5% подобные изделия одновременно обеспечивают необходимые механические характеристики и выраженный эстетический световой эффект. Продукция может применяться в качестве декоративных облицовочных панелей, светопропускающих перегородок, настенных декоративных панелей, вывесок, а также акцентных архитектурных элементов в жилых домах, гостиницах, ресторанах, школах и общественных пространствах (рис. 20, 21). По сравнению с импортируемыми светопропускающими материалами данная продукция обладает ценовым преимуществом благодаря использованию доступных отечественных отходов, таких как зола-унос, доменный шлак и стеклобой.

Кроме того, использование боя стекла и крупно-тоннажных промышленных отходов для изготовления декоративных изделий способствует сокращению потребления природных ресурсов и снижению выбросов CO_2 по сравнению с импортируемыми светопропускающими материалами или традиционными декоративными материалами [22]. Это является важным преимуществом подобной продук-



Рис. 20. Картина «Весна в листе»



Рис. 21. Картина «Попутный ветер»

ции в условиях, когда в строительстве все большее предпочтение отдается экологичным и долговечным материалам.

- Потенциал применения светопропускающего декоративного «зеленого» бетона:

- возможность изготовления конструкций, выполняющих одновременно ограждающую и несущую функции, благодаря высокой прочности материала;
- возможность использования в качестве элемента естественного освещения здания, поскольку материал обладает хорошей светопрозрачностью;
- возможность применения в интерьерной и экстерьерной отделке зданий в сочетании с традиционными материалами, что позволяет создавать уникальные архитектурные световые эффекты;
- возможность изготовления декоративных разделительных перегородок.

Однако для расширения области применения декоративных изделий из бесцементных бетонов необходимо продолжить исследования по оптимизации технологии их изготовления, контролю качества поверхности, снижению тенденции к образованию трещин и оценке долговечности изделий в различных условиях эксплуатации, особенно во влажной при наружном применении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных экспериментальных результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. «Зеленый» бетон без использования цемента, изготовленный с использованием золы-уноса, доменного шлака и стеклянных частиц, может при-

меняться для производства светопропускающих декоративных изделий, обеспечивая стабильность формы, относительно однородную поверхность и механическую прочность, соответствующую эксплуатационным требованиям.

2. Стеклянные частицы в матрице «зеленого» бетона позволяют свету проходить через материал, создавая мягкий рассеянный световой эффект, подходящий для внутренней и наружной декоративной отделки.

3. Светопропускная способность в основном зависит от содержания, размера и цвета стеклянных частиц, а также от степени их перекрытия вяжущей матрицей. Прозрачное и светлое стекло обеспечивает более выраженный световой эффект по сравнению со стеклом темных оттенков.

4. Использование стеклобоя, золы-уноса и доменного шлака способствует снижению потребления природных ресурсов и выбросов CO₂, что соответствует направлению развития производства экологических строительных материалов и принципам создания экономики замкнутого цикла.

5. Светопропускающий «зеленый» бетон демонстрирует высокий потенциал применения в интерьерах и экстерьерах зданий различного назначения, а также хорошие перспективы развития, поскольку является экологически безопасным декоративным материалом.

Рекомендуется продолжить исследования по оценке долговечности, трещиностойкости и стабильности цвета декоративных изделий из бесцементных бетонов в различных условиях эксплуатации, особенно при наружном применении, что послужит основой для их промышленного производства и практического использования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Scrivener K.L., John, V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*. 2018;114:2–26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
2. Tang Van Lam, Vo Dinh Trong, Translucent concrete made from fly ash and glass waste. *Vietnam Journal of Science and Technology*. 2024;7:36–37.
3. Черникова Т.Ю. Прозрачный бетон: особенности материала и перспективы его применения. *Сборник научных трудов по результатам Международной научно-технической конференции молодых учёных БГТУ им. В.Г. Шухова*. Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. С. 1358–1361
4. Pacheco-Torga F., Jalali S. Reusing waste glass in construction materials. *Construction and Building Materials*. 2010;24(11):2149–2158. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.020>
5. Tang Van Lam, Pham Quang Dao, Tran Thi Kim Phung. *Potential for recycling waste glass in the production of “translucent green concrete” in Vietnam*; 2025. Available at: <https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/tiem-nang-tai-che-kinh-phe-thai-trong-san-xuat-be-tong-xanh-truyen-sang-tai-viet-nam.html> (accessed date 05.05.2026)
6. Tang Van Lam, Pham Quang Dao, Tran Thi Kim Phung, Lai Ngoc Hung. Utilization of waste glass in manufacturing environmentally friendly translucent decorative concrete products toward a sustainable future. *TNU Journal of Science and Technology*; 2025.

7. Novikova A.M., Eropov L.A. Modern types of concrete for finishing and for structures. Collection: Days of Science of Students of the Institute of ASE-2021: *Collection of scientific papers based on the results of scientific and practical conference*. Vladimir: Publishing house of VISU; 2021.
8. Tang Van Lam, Bulgakov B.I. Feasibility of using ash and slag waste and rice husk ash in geopolymer concretes for the construction of structures in Vietnam. *BDU Journal of Science & Technology*. 2021;03, No. 01:26–40.
9. Liu H.Q., Chen X. Influence of Aggregate on Workability of Self-Compacting Concrete. *Advanced Materials Research*. 2012;482-484:1101–1104. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.482-484.1101>
10. Bentur A., Mindess S. *Fibre reinforced cementitious composites*. CRC Press; 2007.
11. Altomate A., Alatshan F., Jadan M., Mashiri F. Experiment study of light transmitting concrete. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. 2016;7(3-4):133–139
12. Nguyen Duc Tuan, Huynh Phuong Nam, Nguyen Van Huong, Nguyen Minh Ha. Study on Mix Proportion Design of Mineral Aggregate Concrete and Environmentally Friendly Concrete for Application in Translucent Concrete Production. *Journal of Science and Technology – The University of Danang*, 2022;20:8.
13. TCVN 12209:2018. Self-compacting concrete – Specification and test method.
14. TCVN 3115:2022. Hardened concrete – Test method for density.
15. TCVN 7744:2013. Terrazzo tiles.
16. TCVN 3113:2022. Hardened concrete – Test method for water absorption
17. TCVN 3118:2022. Concrete – Method for determination of compressive strength.
18. TCVN 3119:2022. Hardened concrete – Test method for flexural tensile strength.
19. Duong Thanh Qui, Phan Van Quynh, Pham Huu Thien. Study on the Influence of Dispersed Fibers on the Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete. *Journal of Materials and Construction – Ministry of Construction*. 2025;15(01):28–33. <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2025.700>
20. Tang L.V., Thanh L.X., Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V., Bazhenova S.I. Light-transmitting concrete using ash and slag, and glass waste. *Nanotechnologies in Construction*. 2025;17(4):475–484. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2025-17-4-475-484>
21. Du Tan. Waste glass powder as cement replacement in concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2014;12(11):468–477. <https://doi.org/10.3151/jact.12.468>
22. Nguyen M.H., Huynh P.N. *CO₂ Emission Reduction Efficiency of Light-Transmitting Concrete and Influencing Factors*, *Journal of Science and Technology – The University of Danang*, 2025;23(6A):42–47. [https://doi.org/10.31130/ud-jst.2025.23\(6A\).149](https://doi.org/10.31130/ud-jst.2025.23(6A).149)

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Авторы заявляют о том, что при подготовке статьи не использовались технологии генеративного искусственного интеллекта и технологии, основанные на искусственном интеллекте.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лам Танг Ван – кандидат технических наук, преподаватель-исследователь, Ханойский горно-геологический университет (HUMG), 18 Фо Виен, Донг Нгак, Ханой, 100000, Вьетнам, tangvanlam@humg.edu.vn, <https://orcid.org/0000-0002-4857-835X>

Нгуен Санг – кандидат технических наук, преподаватель-исследователь, Университет Тхань Донг, 3 Ву Конг Дан, район Ту Минь, Хайфон, 180000, Вьетнам, nguensang@thanhdong.edu.vn, <https://orcid.org/0009-0007-7828-7899>

Булгаков Борис Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры Строительного материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д.26, Российская Федерация, BulgakovBI@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4737-8524>

Лукьянова Надежда Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры Строительного материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д.26, Российская Федерация, GalcevaNA@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2014-6739>

ВКЛАД АВТОРОВ

Лам Танг Ван – научное руководство; итоговые выводы.

Нгуен Санг – концепция исследования; написание исходного текста.

Булгаков Б.И. – научное руководство; итоговые выводы.

Лукьянова Н.А. – обработка материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 14.04.2026; одобрена после рецензирования xx.xx.2026; принята к публикации xx.xx.2026.