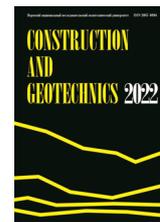




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 13, № 4, 2022

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2022.4.04

УДК 691.17

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛУПРОЗРАЧНОГО БЕТОНА

**А.И. Сиянов, Д.К. Ярошевич**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 22 августа 2022

Одобрена: 01 ноября 2022

Принята к публикации:

15 ноября 2022

#### Ключевые слова:

полупрозрачный бетон, оргстекло, пропускная способность, испытания образцов, физико-механические свойства.

### АННОТАЦИЯ

Полупрозрачный бетон является альтернативным материалом многих строительных конструкций. При достаточно высокой прочности он обладает минимальными значениями плотности, пористости и водонепроницаемости, что может быть использовано в конструкциях легких дорожных покрытий. Современные технологии позволяют повысить качество материала и получить недорогой бетон с высокой способностью пропускать свет. Перспективные разработки призваны улучшить технические характеристики бетона и минимизировать затраты на его получение. Цель работы состояла в исследованиях бетона с использованием доступного и относительно недорогого оргстекла. В рамках работы предложен способ прохода света под разными углами и выявлены закономерности бетона в зависимости от содержания прозрачных элементов. Определены этапы получения образцов с заданными параметрами и разработана структура их световых испытаний. Показаны уровни, при которых происходят основные изменения. На основании проведенных исследований выявлены и проанализированы свойства бетона. Установлена зависимость между распределением по объему и вкладом компонентов оргстекла на общий световой эффект. Определены характерные параметры по проходимости света, плотности и прочности. Практическая польза от исследований заключается в том, что учтена необходимость изменения углов прохода света в соответствии с требованиями архитектуры и определено влияние оргстекла на свойства образцов. Благодаря включению в состав бетона дешевого прозрачного полимера значительно повышены эксплуатационные показатели и получен материал с меньшей объемной массой. Такой бетон при соблюдении правильной технологии изготовления имеет перспективу массового использования в строительстве.

© ПНИПУ

© Сиянов Александр Ильич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: [vntusiyarov@gmail.com](mailto:vntusiyarov@gmail.com)

Ярошевич Данил Константинович – студент, e-mail: [yaroshevach@yandex.ru](mailto:yaroshevach@yandex.ru)

Alexander I. Siyanov – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: [vntusiyarov@gmail.com](mailto:vntusiyarov@gmail.com)

Danil K. Yaroshevich – Student, e-mail: [yaroshevach@yandex.ru](mailto:yaroshevach@yandex.ru)

## INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF TRANSLUCENT CONCRETE

A.I. Siyanov, D.K. Yaroshevich

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 22 August 2022  
Approved: 01 November 2022  
Accepted for publication:  
15 November 2022

#### Keywords:

translucent concrete, plexiglass,  
throughput, sample testing, physical  
and mechanical properties.

### ABSTRACT

Translucent concrete is an alternative material for many building structures. Having a sufficiently high strength, it has minimal values of density, porosity and water resistance, which allows it to be used in the construction of light road surfaces. Modern technologies make it possible to improve the quality of the material and obtain inexpensive concrete with a high ability to transmit light. Promising developments are designed to improve the technical characteristics of concrete and minimize the cost of obtaining it. The aim of the work was to study concrete using affordable and relatively inexpensive plexiglass. Within the framework of the work, a method of light transmission at different angles is proposed and concrete trends are revealed depending on the content of transparent elements. The stages of obtaining samples with specified parameters are determined and the structure of their light tests is developed. The levels at which the main changes occur are shown. Based on the conducted research, the properties of concrete were identified and analyzed. The dependence between the volume distribution and the contribution of plexiglass components to the overall light effect is established. The characteristic parameters of light permeability, density and strength are determined. The practical benefit of the study lies in the fact that it takes into account the need to change the angles of light transmission in accordance with the requirements of architecture and determines the influence of plexiglass on the properties of samples. Thanks to the inclusion of a cheap transparent polymer in the composition of concrete, performance indicators were significantly increased and a material with a lower volume mass was obtained. Such concrete, subject to the correct manufacturing technology, has the prospect of mass use in construction.

© PNRPU

---

## Введение

На протяжении последних десятилетий наблюдается спрос на полупрозрачный бетон [1, 2]. Еще в конце прошлого столетия предложен материал на основе интеграции бетона и оптических волокон [3, 4]. Первое смешивание таких элементов произведено уже в 2001 г. Полученный бетон спустя два года [5, 6] официально стали называть полупрозрачным, а еще через пару лет инновационный материал смог пропускать уже до 80 % света. Сочетая в себе легкость и полупрозрачность, новый бетон [7] оказался весьма интересным для использования [8, 9]. Его предлагали применять в качестве легких стеновых конструкций, где создавалось впечатление отсутствия толщины и веса. Несмотря на это, технология получения бетона с оптическими волокнами представляет собой сложный и дорогостоящий процесс, который требует наличия вспомогательных стержней. Использование прозрачных трубок может быть оправдано лишь при малых объемах применения в конструкциях. Переход на большие партии сильно увеличивает расход материала и возникает ряд ограничений практического использования.

Дороговизна применения бетона с оптическими волокнами и значительная трудоемкость его изготовления [10, 11] привела к поиску альтернативного материала. Поэтому предложено исследовать бетон с использованием доступного и относительно недорогого оргстекла.

Научная новизна исследования заключается в том, что дешевый полимер с высоким уровнем прозрачности предлагается ввести в бетон в виде прямолинейных направляющих

кругового профиля, которые в зависимости от архитектурных условий обеспечат проход света под разными углами.

Проведение испытаний от действия нагрузок позволит проанализировать влияние оргстекла на состояние бетона и определить свойства образцов с прозрачными элементами.

## Материалы и методы

Реализовать технологию можно практически без затрат, используя широко доступные отходы оргстекла [12, 13]. Естественно, чем больше будет таких элементов в бетоне, тем прозрачнее получится материал. На этапе проектирования изделий предлагается использовать одинаковые прозрачные элементы.

В процессе исследований рассмотрена возможность оргстекла передавать свет с одной поверхности на другую с различным содержанием передаваемых элементов.

Свет, который проходит через оргстекло под определенным углом  $\theta_i$ , представлен в виде луча при условии, что угол отражения превысит критическое значение  $\theta_c$ :

$$\theta_c = \Theta \arcsin(n_{cl} / n_c), \quad (1)$$

где  $\Theta$  – коэффициент яркости;  $n_{cl}$  и  $n_c$  – показатели преломления на внешней поверхности и в центре элемента соответственно.

Для реализации полного внутреннего отражения

$$\sin \theta_i > \sin \theta_c = n_{cl} / n_c. \quad (2)$$

Тогда числовая апертура, характеризующая диапазон углов, под которыми происходит прием или излучение света, будет иметь вид

$$NA = n \sin \theta_{\max}, \quad (3)$$

где  $n$  – показатель преломления от центра;  $\theta_{\max}$  – максимальный угол приема.

С увеличением  $n$  свет проходит под большим углом и появляется возможность исследовать влияние одной среды на другую.

Тогда, учитывая угол  $\theta_a$  падения света на торце оргстекла в соответствии с законом Снелла [5], можно записать

$$n_0 \sin \theta_a < NA, \quad (4)$$

где  $n_0$  – показатель преломления воздуха,  $n_0 = 1$ .

Бетон с добавлением элементов из оргстекла рекомендуется применять для наружных и внутренних частей зданий, в том числе и для получения дополнительного освещения (рис. 1) [14, 15].

Для оценки влияния оргстекла на свойства бетона проведены испытания образцов. В качестве вяжущего вещества принят пуццолановый портландцемент с удельным весом  $2,7 \text{ г/м}^3$ . Оргстекло добавлено в виде элементов диаметром 5 и 7 мм с содержанием 2,5 и 3,5 %.

При изготовлении образцов использована смесь 1 : 2,75 с водоцементным соотношением 0,45.

Весь процесс приготовления включал операции, показанные на рис. 2.

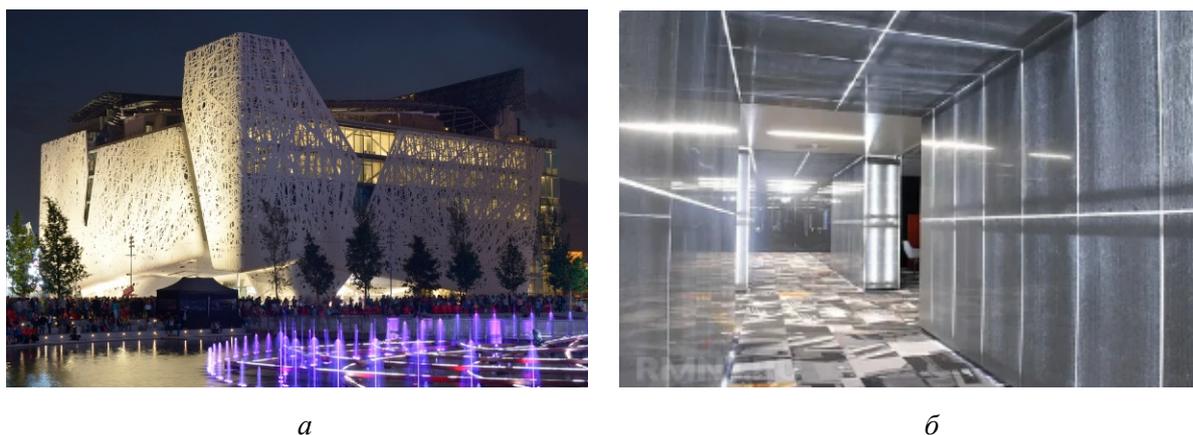


Рис. 1. Полупрозрачный бетон в стенах зданий: *а* – наружных, *б* – внутренних  
Fig. 1. Semi-transparent concrete in the walls of buildings: *a* – external, *b* – internal

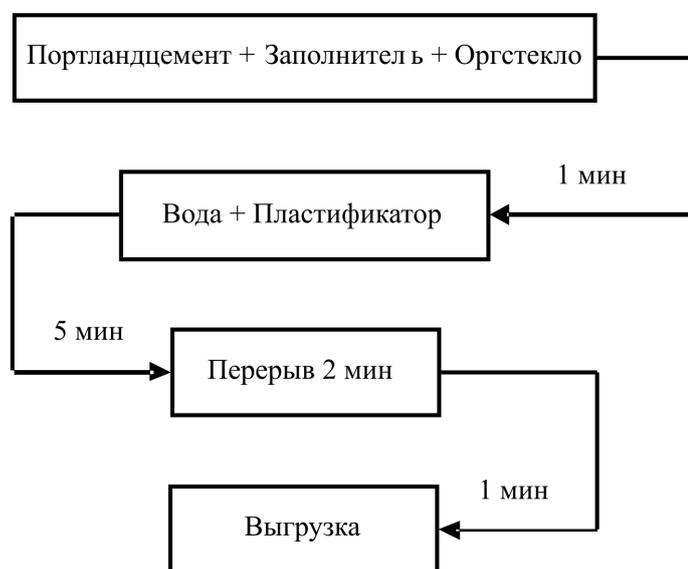


Рис. 2. Процесс приготовления полупрозрачного бетона  
Fig. 2. The process of preparing semi-transparent concrete

Размещение прозрачных элементов выполнено в заранее подготовленные отверстия, а закрепление отрезков из оргстекла осуществлено в специально предусмотренных пазах экспериментальной формы с последующим выравниванием элементов. В зависимости от требований архитектуры предусмотрена возможность изменять объемную долю оргстекла в бетоне.

В качестве источника света использованы фонари с равномерным освещением светодиодными лампами мощностью 150 Вт. Результаты прохождения света через образцы фиксировались на деревянном экране.

Схема исследуемых образцов показана на рис. 3.

В соответствии с принятыми схемами добавок оргстекла определен процент его содержания. По расчету он составил менее 10 % от площади сечения бетонных образцов. Технология формирования изделий предусматривала послойную укладку с последующим уплотнением. Процесс проводился в лабораторных условиях с дальнейшим выдерживанием в течение суток при температуре  $21 \pm 2$  °С. Следующий этап предполагал размещение и выдерживание образцов на 7 и 28 дней соответственно.

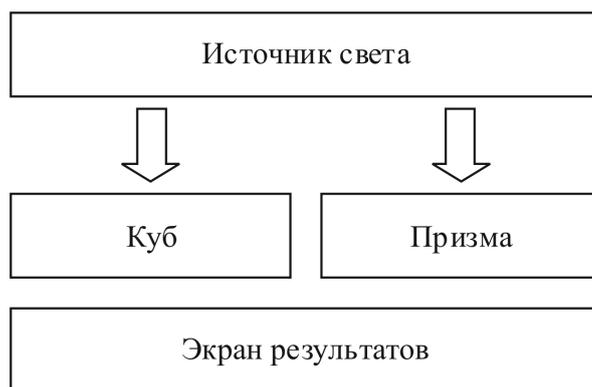


Рис. 3. Структура светового испытания образцов  
Fig. 3. Structure of light testing of samples

Исследования проведены в соответствии с заранее составленным планом, который предусматривал испытания трех образцов кубиков с размерами сторон  $50 \times 50 \times 50$  мм и трех образцов призм с размерами сторон  $40 \times 40 \times 160$  мм.

Для определения способности пропускать свет через оргстекло кубики и призмы размещались по отдельности в специально изготовленных помещениях с размерами сторон  $0,5 \times 0,5 \times 0,5$  м.

Прочность на сжатие и на изгиб определена обычным способом путем испытания под нагрузкой с использованием силового пресса.

## Результаты

Зависимость освещенности от объемного влияния и диаметра  $d$  элементов из оргстекла в бетонных образцах показана на рис. 4.

Полученная закономерность явилась следствием учета фактора объемного воздействия от светового элемента и наглядно продемонстрировала ярко выраженный линейный характер.

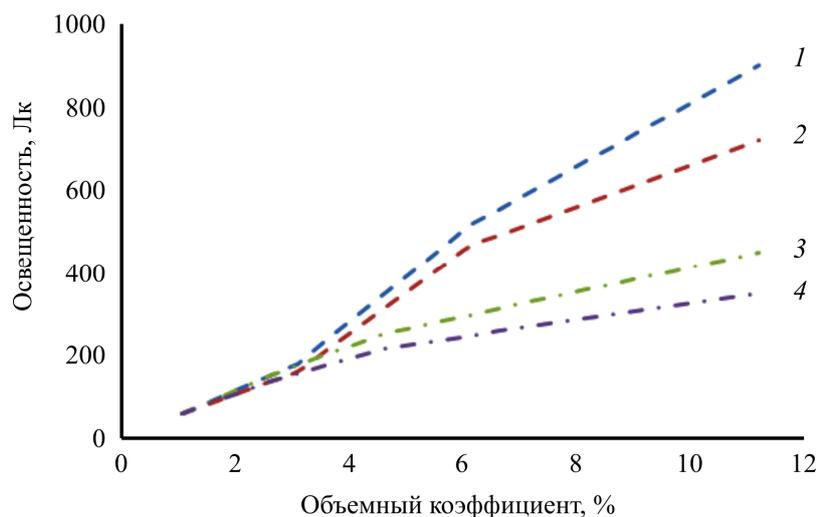


Рис. 4. Результаты испытаний на пропускание света: 1 – призмы с оргстеклом  $d = 7$  мм; 2 – призмы с оргстеклом  $d = 5$  мм; 3 – кубика с оргстеклом  $d = 7$  мм; 4 – кубика с оргстеклом  $d = 5$  мм

Fig. 4. Results of light transmission tests: 1 – prism with plexiglass  $d = 7$  mm; 2 – prism with plexiglass  $d = 5$  mm; 3 – cube with plexiglass  $d = 7$  mm; 4 – cube with plexiglass  $d = 5$  mm

В результате на каждом конкретном отрезке выявлен показатель отражения интенсивности света.

Распределение по объему позволило определить вклад компонентов оргстекла на общий световой эффект.

Включение прозрачных элементов в состав бетона изменило общее состояние образцов.

Полученные результаты при испытании на сжатие позволили определить, что элементы из оргстекла оказали положительное влияние на свойства бетона. Их введение привело к снижению плотности и повышению прочности образцов.

Основные показатели в зависимости от содержания оргстекла приведены в табл. 1 и показаны на рис. 5.

Таблица 1

Результаты испытаний образцов на сжатие в зависимости от содержания оргстекла

Table 1

Results of compression tests of samples depending on the content of plexiglass

Смесь	Элементы оргстекла		Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	
	%	Количество, шт.		7 дней	28 дней
1	–	–	2,74	20,6	24,2
2	2,5	4	2,48	24,4	32,9
3	3,5	4	2,46	21,8	27,3

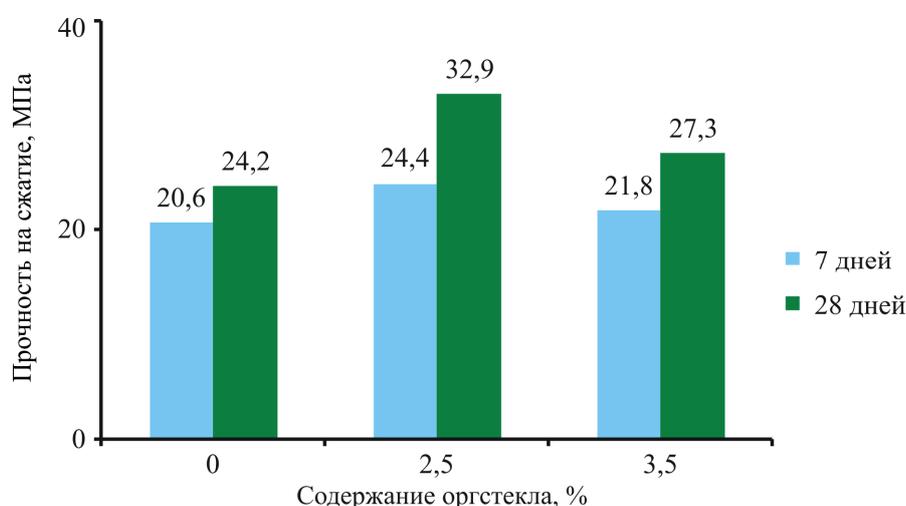


Рис. 5. Результаты испытаний образцов на сжатие

Fig. 5. Results of compression tests of samples

Здесь необходимо отметить, что величина содержания прозрачных элементов на уровне 3,5 % от площади сечения введена как ограничение на количественную расстановку элементов из оргстекла. Как показали исследования, дальнейший рост содержания прозрачных элементов в образцах приводит к резкому снижению прочности и не рекомендуется на практике. К тому же такой прием почти не уменьшил плотность бетона, которая почти не зависела от изменения содержания оргстекла в образцах с 2,5 до 3,5 %.

Однако, поскольку оргстекло намного легче бетона, его включение оказало положительное влияние на уменьшение объемной массы образцов.

Другая ситуация зафиксирована при изгибе призм, которые находились под действием поперечной нагрузки. Для них элементы из оргстекла оказали особое влияние. Их введение привело к снижению плотности и прочности образцов. Некоторые особенности по сравнению с испытанием на сжатие отразились числовыми значениями прочности.

В табл. 2 и на рис. 6 приведены основные показатели в зависимости от содержания прозрачных элементов.

Таблица 2

Результаты испытания образцов на изгиб в зависимости от содержания оргстекла

Table 2

Results of bending tests of samples depending on the content of plexiglass

Смесь	Элементы оргстекла		Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность на изгиб, МПа	
	%	Количество, шт.		7 дней	28 дней
1	–	–	2,67	3,17	3,31
2	2,5	14	2,55	2,83	2,36
3	3,5	14	2,39	3,11	2,62

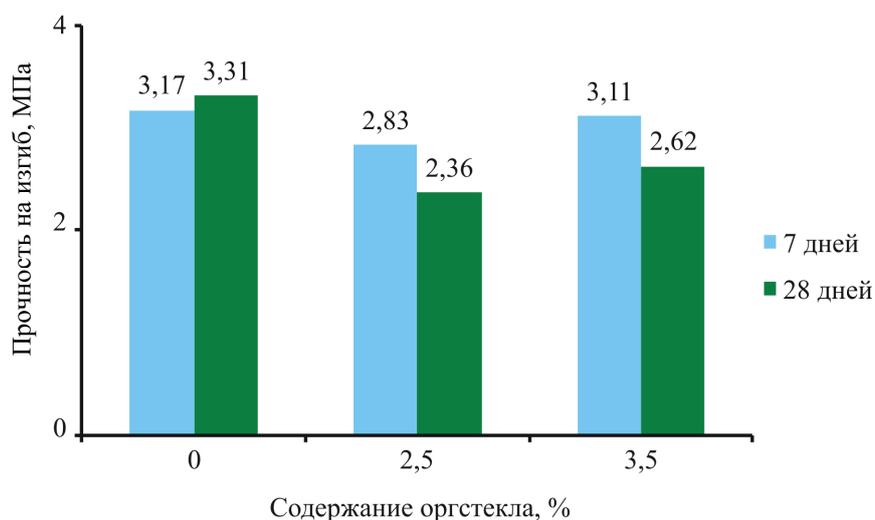


Рис. 6. Результаты испытаний образцов на изгиб

Fig. 6. Results of bending tests of samples

Увеличение содержания оргстекла при испытании на изгиб вызвано размерами принятых призм и рекомендуемым расстоянием между введенными элементами. Из полученных результатов видно, что прочность на изгиб при уровне содержания оргстекла 3,5 % мало изменилась по сравнению с прочностью образца без прозрачных элементов и, к сожалению, оказалась немного ниже. Такой результат свидетельствует о том, что оргстекло, хотя и имеет высокий модуль упругости и очень хорошую сопротивляемость образованию трещин, но слабо реагирует на действие поперечной нагрузки, и при снижении уровня содержания прозрачных элементов до 2,5 % прочность на изгиб падает существенно.

Естественно, на показатели качества сильно влияет степень сцепления оргстекла и бетона. Поэтому проведены дополнительные испытания и исследована прочность совместной работы двух материалов в зависимости от площади контакта между ними. Для лучшего сцепления с бетоном использованы элементы оргстекла с выступами.

Как и предполагалось, результаты на сдвиговые усилия показали очень малую прочность, которая не превышала  $1,2 \text{ кг/см}^2$ . Такое значение рекомендуется учитывать при проектировании особо уязвимых конструкций, а также на территориях с беспокойными погодными условиями и опасностью возникновения пожаров. В других случаях применение бетона с оргстеклом повысит светопрозрачность и снизит экологические риски при эксплуатации.

По результатам испытаний выявлено, что, несмотря на введение оргстекла в состав бетонных образцов, получены достаточно предсказуемые закономерности разрушения. Причем они полностью соответствуют тем, что получены при испытаниях образцов без прозрачных элементов.

## Обсуждение

Проведенные исследования образцов позволили определить влияние элементов из оргстекла на светопропускную способность и состояние бетона. Доступный и недорогой полимер с высоким уровнем прозрачности успешно введен в бетон в виде прямолинейных направляющих кругового профиля.

Практическая польза от исследований очевидна, поскольку предложен новый способ прохода света под разными углами с учетом требований архитектуры и определено влияние оргстекла на свойства бетонных образцов.

Зависимость освещенности от объемного влияния прозрачных элементов отразила фактор воздействия света на пропускную способность бетона. Рост содержания оргстекла позволил получить плавно возрастающую закономерность с ломанным и ярко выраженным линейным характером. Основные изменения в пропускании света зафиксированы на уровне 3 и 6 % при испытании призм и на уровне 3 и 5 % при испытании кубиков. Разброс в показаниях призм и кубиков вызван различным содержанием элементов оргстекла в объеме образцов и по площади их сечения. При разнице диаметра в 2 мм интервал пропускной способности призм составил 26, кубиков 30 %. Естественно, с увеличением габаритов эффект светового отражения будет только возрастать.

Включение в состав бетона прозрачных элементов существенно изменило общее состояние и физико-механические свойства образцов.

Испытание на сжатие показало снижение плотности бетона до 10 и увеличение его прочности до 36 %.

Приведенные показатели изменения свойств определены с учетом времени набора прочности бетона 28 сут при содержании прозрачных элементов на уровне 3,5 % от площади сечения.

Другая ситуация с некоторыми особенностями зафиксирована и при изгибе призм. Испытания бетона под действием поперечной нагрузки показало уменьшение плотности до 10,5 и прочности до 21 %. После истечения 7 сут выявлено снижение прочности бетона на 2 %. Полученные показатели соответствовали содержанию оргстекла на уровне 3,5 %.

Сопrotивляемость прозрачных элементов сдвиговым усилиям составила  $1,1 \text{ кг/см}^2$  при испытании призм и  $1,2 \text{ кг/см}^2$  при испытании кубиков. Полученные результаты соответствовали времени набора прочности бетона 28 сут при содержании прозрачных элементов на уровне 3,5 %.

Таким образом, испытания позволили выявить и проанализировать основные свойства бетона с оргстеклом и характерные закономерности его работы.

## **Выводы**

В результате проведенных исследований бетонных образцов кубиков и призм с элементами из оргстекла определены основные свойства для применения в строительстве. Разработаны теоретические положения и предложен способ прохода света под разными углами и с учетом требований архитектуры. В зависимости от содержания в образцах прозрачных элементов установлено влияние на пропускную способность бетона. Показаны уровни, при которых проходят основные изменения в пропускании света. Благодаря включению в состав бетона оргстекла получены закономерности изменения свойств образцов с учетом времени набора прочности бетона и уровня процентного содержания прозрачных элементов.

Исследование бетона с оргстеклом позволяет получить требуемые параметры по проходимости света, плотности и прочности. Ожидается, что производство материала с повышенными эксплуатационными свойствами и наименьшей стоимостью станет серьезной альтернативой существующей технологии получения бетона.

В сочетании со сниженной пористостью, уменьшенной водонепроницаемостью и дешевым прозрачным материалом такой бетон сможет успешно использоваться в конструкциях легких дорожных покрытий.

***Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.*

***Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

***Вклад авторов.** Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.*

## **Библиографический список**

1. Прозрачный бетон – литракон [Электронный ресурс]. – URL: <https://stroytehnural.ru/stati/97-prozrachnyi-beton-litrakon.html> (дата обращения: 05.09.2022).
2. Lumicon. Светопроводящий бетон [Электронный ресурс]. – URL: <https://lumicon.ru/> (дата обращения: 05.09.2022).
3. Suleymanova L., Malyukova M., Koryakina A. Architectural and decorative concrete with photoluminescent pigment // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 896. – Art. № 012025. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012025
4. Кодзоев М.Х., Исаченко С.Л. Светопроводящий бетон [Электронный ресурс] // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4, № 6. – С. 184–187. – URL: <https://oaji.net/articles/2017/3996-1531939660.pdf> (дата обращения: 05.09.2022).
5. Huang B. Light transmission performance of translucent concrete building envelope // Cogent Engineering. – 2020. – № 7. DOI: 10.1080/23311916.2020.1756145
6. Рашевский Д.А. Прозрачный бетон [Электронный ресурс] // Синергия наук. – 2020. – № 46. – С. 224–238. – URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article5270> (дата обращения: 05.09.2022).
7. Sharma S., Reddy O.P. Transparent concrete // International Journal of Engineering Sciences & Research Technology. – 2017. – Vol. 6, № 3. – P. 305–308. DOI: 10.5281/zenodo.400947
8. Daylighting performance simulation and analysis of translucent concrete building envelopes / X. Su, L. Zhang, Z. Liu, Y. Luo, J. Liang, P. Liang // Renewable Energy. – 2020. – Vol. 154. – P. 754–766. DOI: 10.1016/j.renene.2020.03.041

9. Shakir A.S., Hassan H.J., Safaa A.M. Evaluation of The Mechanical Properties of Translucent Concrete // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. – 2018. – Vol. 58, № 3. – P. 158–164. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V58P230
10. Implementing Efficiency in Transparent Concrete [Электронный ресурс] / Kanniyappan S.P., Faizuneesa A., Yogeshwar S., Yashwantha Kumar M. // *Int. Res. J. Eng. Technol.* – 2021. – Vol. 8, № 11. – P. 1629–1632. – URL: <https://www.researchgate.net/project/Implementing-Efficiency-in-Transparent-Concrete> (дата обращения: 05.09.2022).
11. Арутюнян Э.Г., Тимохин Д.К. Принципы получения светопрозрачных бетонов / Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2018. – № 10. – С. 167–170.
12. ООО «Первый круг». Переработка оргстекла [Электронный ресурс]. – URL: <https://pervyy-krug.ru/pererabotaem/pererabotka-orgstekla> (дата обращения: 05.09.2022).
13. Полимер-МС. Оргстекло отходы [Электронный ресурс]. – URL: <https://pnd-priem.ru/plastikovye-othody/othody-orgstekla> (дата обращения: 05.09.2022).
14. Palazzo Italia Expo Milano 2015 [Электронный ресурс]. – URL: <https://cdn1.iguzzini.com/projects/project-gallery/palazzo-italia-expo-milano-2015> (дата обращения: 05.09.2022).
15. Новейший строительный материал нашего производства [Электронный ресурс]. – URL: [https://xn--80adgdbb4bk2bb.xn--p1ai/files/news/279/opengraf\\_img/mczmxrp9.jpg](https://xn--80adgdbb4bk2bb.xn--p1ai/files/news/279/opengraf_img/mczmxrp9.jpg) (дата обращения: 05.09.2022).

## References

1. Prozrachnyy beton – litrakon [Transparent concrete – litracon], available at: <https://stroytehnur.ru/stati/97-prozrachnyi-beton-littrakon.html> (accessed 05 September 2022).
2. Lumicon. Svetoprovodyashchiy beton [Lumicon. Light-conducting concrete], available at: <https://lumi-con.ru/> (accessed 05 September 2022).
3. Suleymanova L., Malyukova M., Koryakina A. Architectural and decorative concrete with photoluminescent pigment. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 896, no. 012025. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012025.
4. Kodzoev M.KH., Isachenko S.L. Svetoprovodyashchiy beton [Light-conducting concrete]. *Byulleten' nauki i praktiki*, 2018, vol. 4, no. 6, pp. 184–187, available at: <https://oaji.net/articles/2017/3996-1531939660.pdf>. (accessed 05 September 2022).
5. Huang B. Light transmission performance of translucent concrete building envelope. *Cogent Engineering*, 2020, no. 7, DOI: 10.1080/23311916.2020.1756145.
6. Rashevskiy D.A. Prozrachnyy beton [Transparent concrete]. *Sinergiya Nauk*, 2020, no. 46, pp. 224–238, available at: <http://synergy-journal.ru/archive/article5270> (accessed 05 September 2022).
7. Sharma S., Reddy O.P. Transparent concrete. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 2017, vol. 6, no. 3, pp. 305–308. DOI: 10.5281/zenodo.400947.
8. Su X., Zhang L., Liu Z., Luo Y., Liang J., Liang P. Daylighting performance simulation and analysis of translucent concrete building envelopes. *Renewable Energy*, 2020, vol. 154, pp. 754–766. DOI: 10.1016/j.renene.2020.03.041.
9. Shakir A.S., Hassan H.J., Safaa A.M. Evaluation of The Mechanical Properties of Translucent Concrete. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2018, vol. 58, no. 3, pp. 158–164. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V58P230.

10. Kanniyappan S.P., Faizuneesa A., Yogeshwar S., Yashwantha Kumar M. Implementing Efficiency in Transparent Concrete. *Int. Res. J. Eng. Technol*, 2021, vol. 8, no. 11, pp. 1629–1632, available at: <https://www.researchgate.net/project/Implementing-Efficiency-in-Transparent-Concrete> (accessed 05 September 2022).
11. Arutyunyan E.H.G., Timokhin D.K. Printsipy polucheniya svetoprozrachnykh betonov [Principles of obtaining translucent concrete]. *Resursoehnergoehffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona*, 2018, no. 10, pp. 167–170.
12. ООО «Pervyy krug». Pererabotka orgstekla [LLC "First circle". Plexiglass recycling], available at: <https://pervyy-krug.ru/pererabotkaem/pererabotka-orgstekla>. (accessed 05 September 2022).
13. Polimer-MS. Orgsteklo otkhody [Polymer-MS. Plexiglass waste], available at: <https://pnd-priem.ru/plastikovye-othody/othody-orgstekla/>. (accessed 05 September 2022).
14. Palazzo Italia Expo Milano 2015, Milan, Italy / Infrastructure available at: <https://cdn1.iguzzini.com/projects/project-gallery/palazzo-italia-expo-milano-2015> (accessed 05 September 2022).
15. Noveyshiy stroitel'nyy material nashego proizvodstva [The latest construction material of our production], available at: [https://xn--80adgdbb4bk2bb.xn--p1ai/files/news/279/open-graf\\_img/mczmxrp9.jpg](https://xn--80adgdbb4bk2bb.xn--p1ai/files/news/279/open-graf_img/mczmxrp9.jpg). (accessed 05 September 2022).