

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, РАССМАТРИВАЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ЗАПОЛНЕНИЯ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Бунто О.В., Жамойдик С.М.

*Цель.* Путем экспериментальных исследований определить физико-механические свойства полимерных материалов, оказывающих влияние на процесс вскрытия легко-сбрасываемых конструкций.

*Методы.* Экспериментальные исследования, методы сравнительного анализа.

*Результаты.* Проведены экспериментальные исследования по определению физико-механических свойств полимерных материалов. По результатам экспериментальных исследований получены данные о прочностных и деформационных свойствах полимерных материалов (модуль упругости и предел прочности при растяжении; модуль упругости и предел прочности при изгибе; коэффициент Пуассона; модуль сдвига). Установлено, что диаграмма растяжения и изгиба органического стекла имеет вид, характерный для хрупкого материала, разрушающегося без проявления текучести при низких относительных удлинениях. Диаграмма растяжения и изгиба монолитного поликарбоната имеет вид, характерный для материала, подверженного вязкому разрушению.

*Область применения исследований.* Полученные результаты могут быть использованы при разработке конструкции легкосбрасываемого оконного блока или аэрационного фонаря здания с применением полимеров в качестве светопрозрачного заполнения.

*Ключевые слова:* легкосбрасываемые конструкции, физико-механические свойства, деформация, изгиб, растяжение, экспериментальные исследования.

(Поступила в редакцию 12 января 2023 г.)

### Введение

Несмотря на оснащение производственных объектов самыми современными средствами взрывозащиты, предотвращение взрывов не всегда представляется возможным. С учетом тяжести наступающих при взрыве последствий для защиты людей и материальных ценностей от опасных факторов взрыва должен быть предусмотрен комплекс мероприятий по противовзрывной защите. Одним из конструктивных решений по противовзрывной защите является использование легкосбрасываемых конструкций (далее – ЛСК), предназначенных для ограничения максимального давления в защищаемом объеме. В зависимости от способа разрушения данные конструкции делятся на два вида: безынерционные и инерционные [1–6].

Анализ исследований и научных трудов на территории СНГ в области взрывозащиты М.Г. Годжелло, Г.Г. Орлова, В.С. Румянцева, Н.Н. Брушлинского, Л.П. Пилюгина, а также анализ защиты помещений взрывоопасных производств от избыточного давления взрыва на территории Республики Беларусь и стран близлежащего зарубежья показал, что преобладающим видом ЛСК являются безынерционные (разрушающиеся) конструкции. Использование в качестве заполнения разрушающихся ЛСК стекол глухого остекления позволяет получать наиболее дешевые и простые конструктивные решения, отвечающие как требованиям освещения помещения, так и снижения возникающего в нем избыточного давления взрыва. Поэтому преобладающим видом ЛСК является остекление окон и фонарей, как правило, одинарное, установленное в вертикальных конструкциях [1–7].

Остекление имеет ряд недостатков: значительную массу конструкции оконного блока, что вызывает ряд трудностей при доставке и монтаже на верхних этажах здания; низкий

коэффициент сопротивления теплопередаче ( $0,13-0,15 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$ ), что при больших оконных проемах приводит к увеличению теплопотерь в течение отопительного периода; образование осколков при разрушении, что может привести к травмированию человека [1–7].

Альтернативой остеклению могут стать полимеры, в частности монолитный поликарбонат и органическое стекло, которые могут использоваться в качестве светопрозрачного заполнения ЛСК как в оконных блоках, так и в аэрационных фонарях зданий, однако опыт их применения в качестве ЛСК не изучен.

Для проверки гипотезы о возможности их применения в качестве ЛСК требуется проведение экспериментальных исследований по определению данных о физико-механических свойствах светопрозрачных полимерных материалов, которые могут оказывать влияние на процесс вскрытия ЛСК при приложении квазистатической нагрузки, образующейся в результате дефлаграционного взрыва.

Таким образом, проведение экспериментальных исследований по определению физико-механических свойств светопрозрачных полимерных материалов (монолитный поликарбонат и органическое стекло) при взрыве является актуальным. Полученные экспериментальные данные в дальнейшем позволят построить модель деформации полимерных элементов.

### Основная часть

Основной целью исследования было получение данных о физико-механических характеристиках органического стекла и монолитного поликарбоната для последующего моделирования процессов, происходящих при приложении квазистатической нагрузки при дефлаграционном сгорании взрывоопасных смесей.

Испытания прочностных и деформационных свойств полимерных материалов проводились согласно методикам, изложенным в ГОСТ 11262-2017<sup>1</sup>, ГОСТ 34370-2017<sup>2</sup>, ГОСТ 4648-2014<sup>3</sup>.

В работе проводились испытания монолитного поликарбоната (изготовленного методом фосгенирования бисфенола А) и органического стекла (изготовленного методом экструзии), представляющего собой пластины номинальной толщиной  $3,0 \pm 0,1 \text{ мм}$ . Все испытания проводились при температуре в помещении  $20 \text{ °C}$ .

**Предел прочности и модуль упругости при растяжении.** Для определения модуля упругости и предела прочности при растяжении были проведены испытания выбранного ряда полимерных материалов в соответствии с ГОСТ 11262-2017. Для каждой серии испытаний изготавливалось 5 образцов типа 1В (п. 6.1 ГОСТ 11262-2017). Общий вид образцов представлен на рисунке 1.

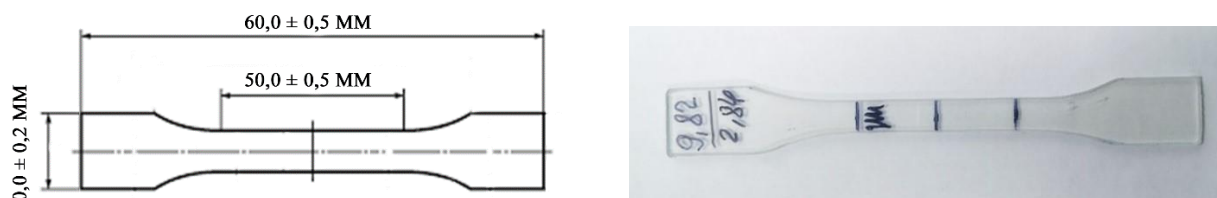


Рисунок 1. – Образцы полимерных материалов для испытаний типа 1В

<sup>1</sup> Пластмассы. Метод испытания на растяжение: ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012). – Введ. 01.10.18. – М.: Стандартинформ, 2018. – 20 с.

<sup>2</sup> Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении. Часть 1. Общие принципы: ГОСТ 34370-2017 (ISO 527-1:2012). – Введ. 30.11.17. – М.: Стандартинформ, 2018. – 20 с.

<sup>3</sup> Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб: ГОСТ 4648-2014 (ISO 178:2010). – Введ. 01.03.15. – М.: Стандартинформ, 2016. – 20 с.

Образцы имели рабочую часть длиной  $60,0 \pm 0,5$  мм, шириной  $10,0 \pm 0,2$  мм и расчетную длину (базу)  $50,0 \pm 0,5$  мм. Поперечное сечение рабочей части образцов измеряли с помощью микрометра гладкого МК-25 с точностью 0,01 мм.

Испытания проводились с использованием электромеханической испытательной машины Kason WDW-100 (Jinan Kason Testing Equipment Co., Ltd) имеющей следующие характеристики: максимальная нагрузка 100 кН; точность по нагрузке 0,50 %; точность деформации 1,00 %; разрешение перемещения траверсы – 0,001 мм.

Скорость перемещения подвижного захвата при испытаниях составляла 1 мм/мин, деформации образцов измеряли с помощью осевого электронно-механического экстензометра навесного типа с контактными рычагами с точностью 0,0001 мм. Диаграммы растяжения регистрировались в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения MaxTest (рис. 2).

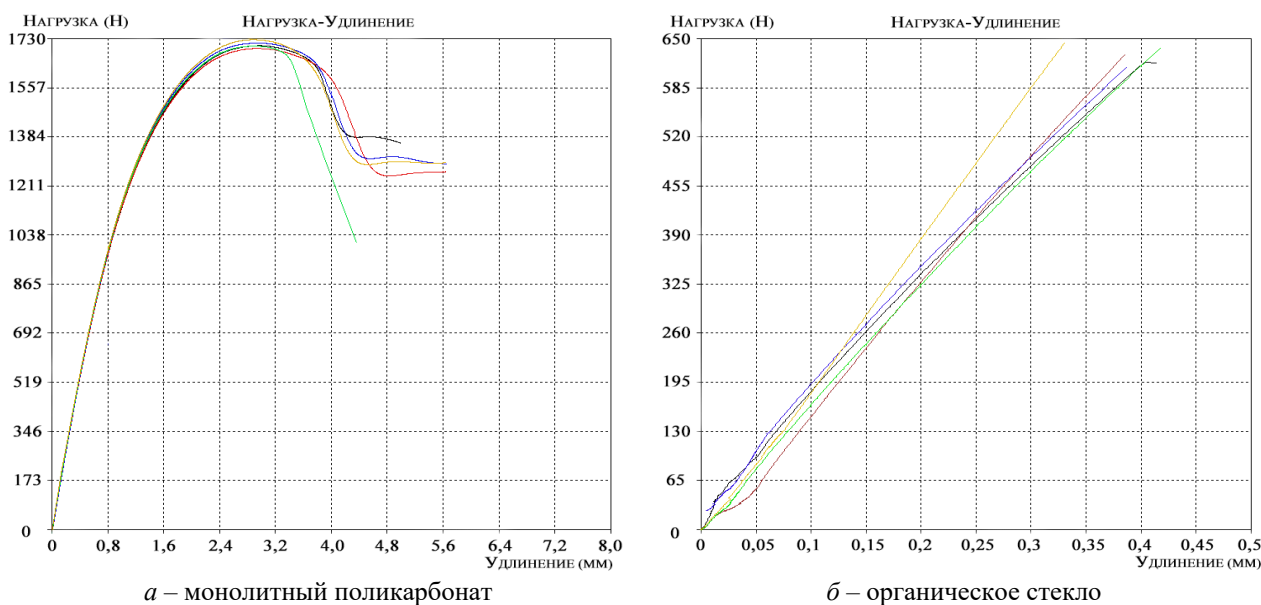


Рисунок 2. – Диаграммы растяжения монолитного поликарбоната и органического стекла

Диаграммы растяжения образцов монолитного поликарбоната (рис. 2а), органического стекла (рис. 2б) построены в соответствии с ГОСТ 11262-2017<sup>4</sup> и ГОСТ 34370-2017<sup>5</sup>. После достижения предела текучести растягивающая нагрузка в монолитном поликарбонате падает и выходит на сравнительно стабильный уровень (продольные деформации сильно увеличиваются практически без изменения нагрузки, наблюдается пластическая деформация), а на рабочем участке образцов образуется шейка, и дальнейшие деформации образцов происходят в этой области. Для органического стекла диаграмма растяжения имеет вид, характерный для хрупкого материала, разрушающегося без проявления текучести при низких относительных удлинениях. Удлинение определяется на участке, равном базе измерителя деформации, и составляет  $50,0 \pm 0,5$  мм. Растягивающая нагрузка отображалась автоматически, по ней в соответствии с ГОСТ 11262-2017 вычислялась прочность при растяжении  $\sigma_{рн}$  (МПа) образцов по формуле:

$$\sigma_{рн} = F_{рн} / A_0,$$

где  $F_{рн}$  – растягивающая нагрузка, Н;

$A_0 = 27 \pm 0,5$  мм<sup>2</sup> – начальная площадь поперечного сечения.

<sup>4</sup> См. сноску 1.

<sup>5</sup> См. сноску 2.

Экспериментально полученное значение прочности монолитного поликарбоната при растяжении  $\sigma_{\text{рм ср}} = 59,6 \pm 1,2$  МПа находится в диапазоне данных [8] (52–72 МПа) и меньше справочных данных [9] (70 МПа) на 14,8 %. Здесь и далее доверительные интервалы измеряемых величин вычислялись с надежностью 0,95. Экспериментальное значение прочности органического стекла –  $\sigma_{\text{рм ср}} = 24,8 \pm 2,4$  МПа значительно ниже справочных данных [9] (40–72 МПа) и [10] (38–76 МПа) и более чем в два раза меньше данных [11] (75 МПа). Это может быть обусловлено наличием дефектов структуры образцов, микротрещин и микропузырьков газа, которые становятся различимы при десятикратном и более увеличении, а также множеством вариантов химического состава и технологии изготовления.

Для дальнейших расчетов в экспериментальных точках в соответствии с п. 10.2.2.2 ГОСТ 34370-2017 вычислялось относительное удлинение образцов  $\varepsilon_l$ . Согласно п. 10.3.3 этого норматива для определения модуля упругости допускается использование наклона линии регрессии, подобранной для части кривой «нагрузка – относительное удлинение» в интервале относительных удлинений  $0,001 \leq \varepsilon_l \leq 0,003$ .

На основании полученных экспериментальных данных для зависимости нагрузки от относительного удлинения образца строился график регрессии – линейного уравнения вида  $y = kx$ , в котором коэффициент  $k$  численно равен модулю упругости при растяжении ( $E_t$ , МПа). Для расчетов и построений брали не менее пяти экспериментальных точек диапазона  $0,0005 \leq \varepsilon_l \leq 0,003$ . Полученные графики линейной регрессии для одного образца монолитного поликарбоната и одного образца органического стекла представлены на рисунке 3.

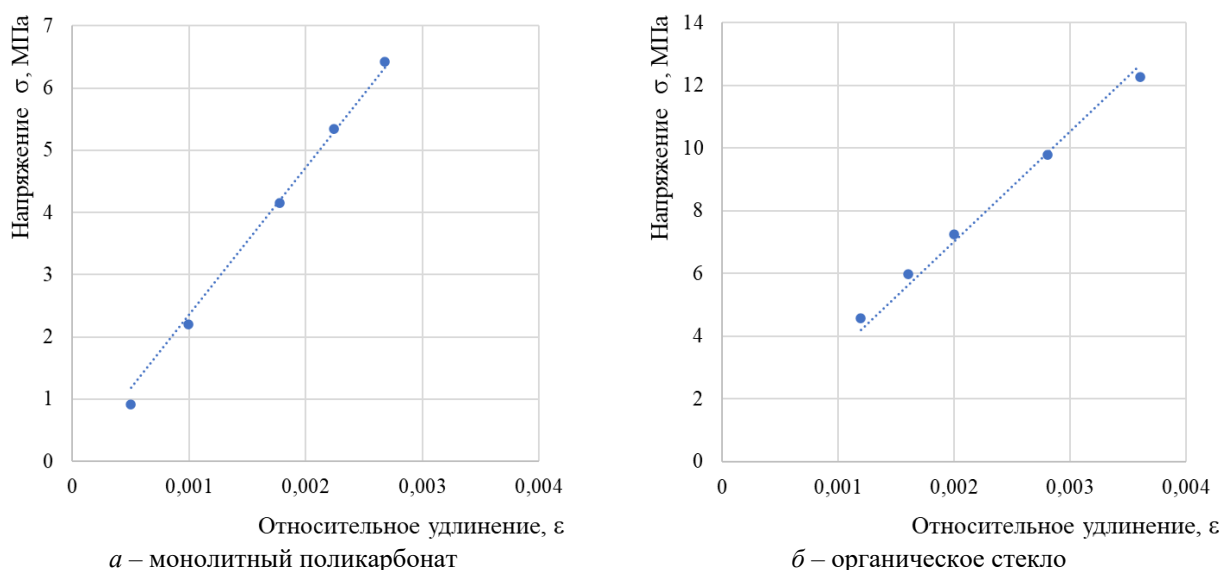


Рисунок 3. – Графики линейной регрессии для определения  $E_t$  методом наименьших квадратов образца монолитного поликарбоната и органического стекла

Экспериментально полученное значение модуля упругости монолитного поликарбоната при растяжении  $E_{t \text{ ср}} = 2464,9 \pm 31,3$  МПа находится в диапазоне справочных данных [8; 11] (2000–2600 МПа) и [12] (2400–2800 МПа). Экспериментальное значение модуля упругости органического стекла  $E_{t \text{ ср}} = 3514,6 \pm 71,6$  МПа превышает справочные данные [9; 12] (2870...3300 МПа) и [10] (1600...3300 МПа) на 6,5 %, а также данные источника [11] (3000 МПа) на 17 %. Необходимо отметить, что модуль упругости при растяжении органического стекла в целом соответствует данным, опубликованным в источниках, а предел прочности существенно ниже. Это может объясняться тем, что модуль упругости определяется на начальных стадиях нагружения образцов, в области действия закона Гука, и наличие дефектов структуры не сказывается на получаемых результатах.

**Предел прочности при изгибе.** Испытания выбранного ряда полимерных материалов при изгибе проводились в соответствии с ГОСТ 4648-2014<sup>6</sup> (метод А) по трехточечной схеме нагружения (радиусы верхней и нижних опор – 5 мм, расстояние между опорами – 64 мм).

Испытательные образцы имели длину  $l = 80,00 \pm 2,00$  мм, ширину  $b = 15,00 \pm 1,00$  мм и толщину  $h = 2,85 \pm 0,01$  мм (рис. 4). Для испытаний использовали пять образцов. Испытания проводили с использованием электромеханической испытательной машины Kason WDW-100. Перед проведением испытаний проводилась коррекция испытательной машины на податливость с помощью программного обеспечения, т.к. перемещение траверсы включает не только прогиб самого образца, но также вдавливание в образец нагружающего наконечника, опор.

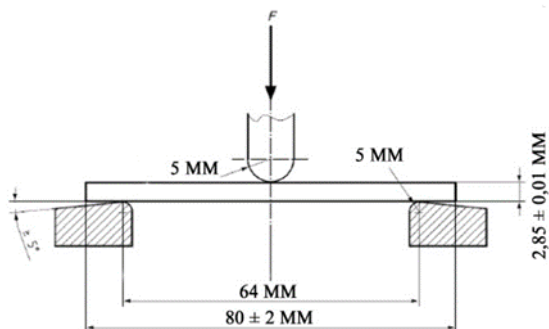
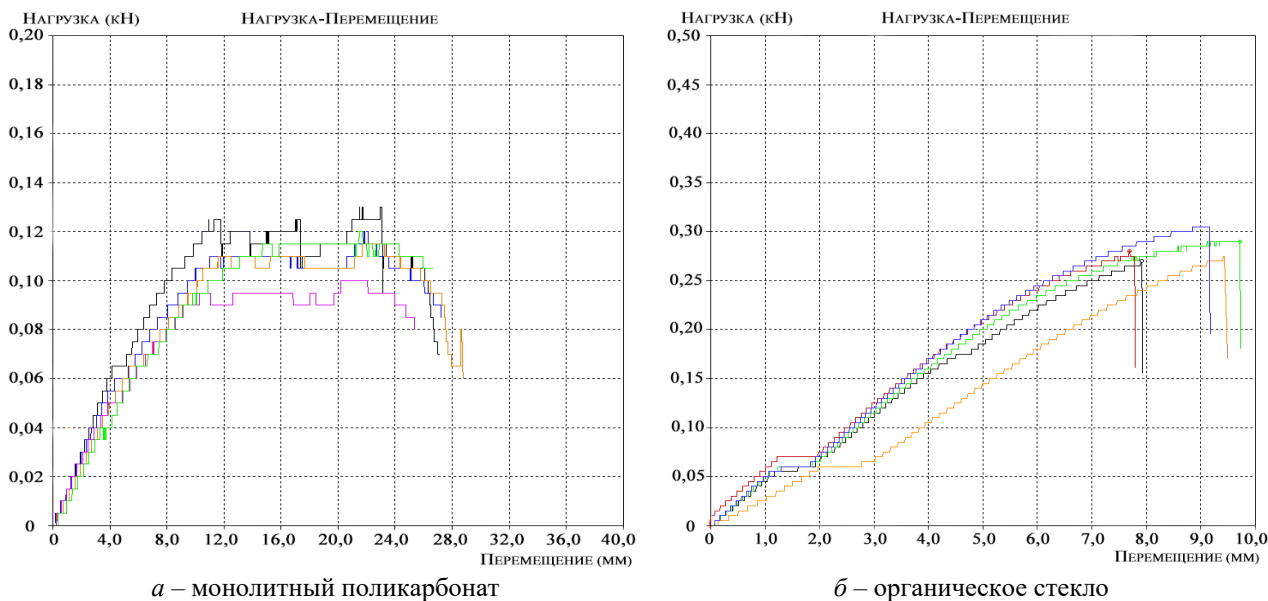


Рисунок 4. – Образцы полимерных материалов для испытаний на изгиб

Диаграммы изгиба (зависимости величины прогиба образцов от изгибающего усилия) регистрировались в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения MaxTest. Особенностью полученных диаграмм изгиба являлось то, что они регистрировались ступенчато с шагом в 5 Н (рис. 5).



а – монолитный поликарбонат  
б – органическое стекло  
Рисунок 5. – Диаграммы изгиба монолитного поликарбоната и органического стекла

Представленные на рисунке 5 диаграммы изгиба образцов монолитного поликарбоната и органического стекла в целом соответствуют ГОСТ 4648-2014, т.е. после достижения изгибающего напряжения при максимальной нагрузке ( $\sigma_{f\max}$ , МПа) изгибающая нагрузка выходит на сравнительно стабильный уровень (изгибающая нагрузка практически не увеличивается по отношению к перемещению траверсы), а в точке приложения нагрузки

<sup>6</sup> См. сноску 3.

от нагружающего наконечника на образце образуется некоторое подобие шейки – участка образца с нарушенной структурой, наблюдаемого невооруженным глазом. Дальнейшие деформации образцов происходили в этой области, они приобретали V-образную форму: для поликарбоната – нагружающий наконечник постепенно начинал проталкивать образцы между опорами (горизонтальные участки со скачками нагрузки на диаграммах); для органического стекла – происходило хрупкое разрушение образца.

Прочность при изгибе  $\sigma_f$ , (МПа) определялась в соответствии с ГОСТ 4648-2014 по формуле:

$$\sigma_f = \frac{3F_f L}{2bh^2},$$

где  $F_f$  – нагрузка при изгибе, Н;

$L$  – расстояние между опорами, мм;

$b$  – ширина образца, мм;

$h$  – толщина образца, мм.

В численных значениях прочности при изгибе, рассчитанных по данной формуле, не учитывается величина прогиба самого образца.

Экспериментально полученное значение прочности органического стекла при изгибе  $\sigma_{f\text{cp}} = 115 \pm 7$  МПа оказалось в диапазоне справочных данных [9; 11] (105...140 МПа). Экспериментально полученное значение прочности монолитного поликарбоната при изгибе  $\sigma_{f\text{cp}} = 84 \pm 4$  МПа оказалось в диапазоне справочных данных [8] (80...97 МПа) и [13] (80...110 МПа), но меньше справочных данных [9] (105 МПа) на 20 %.

**Коэффициент Пуассона и модуль сдвига.** Определение коэффициента Пуассона проводилось в соответствии с ГОСТ 34370-2017<sup>7</sup> на образцах типа 1В (п. 6.1 ГОСТ 11262-2017<sup>8</sup>).

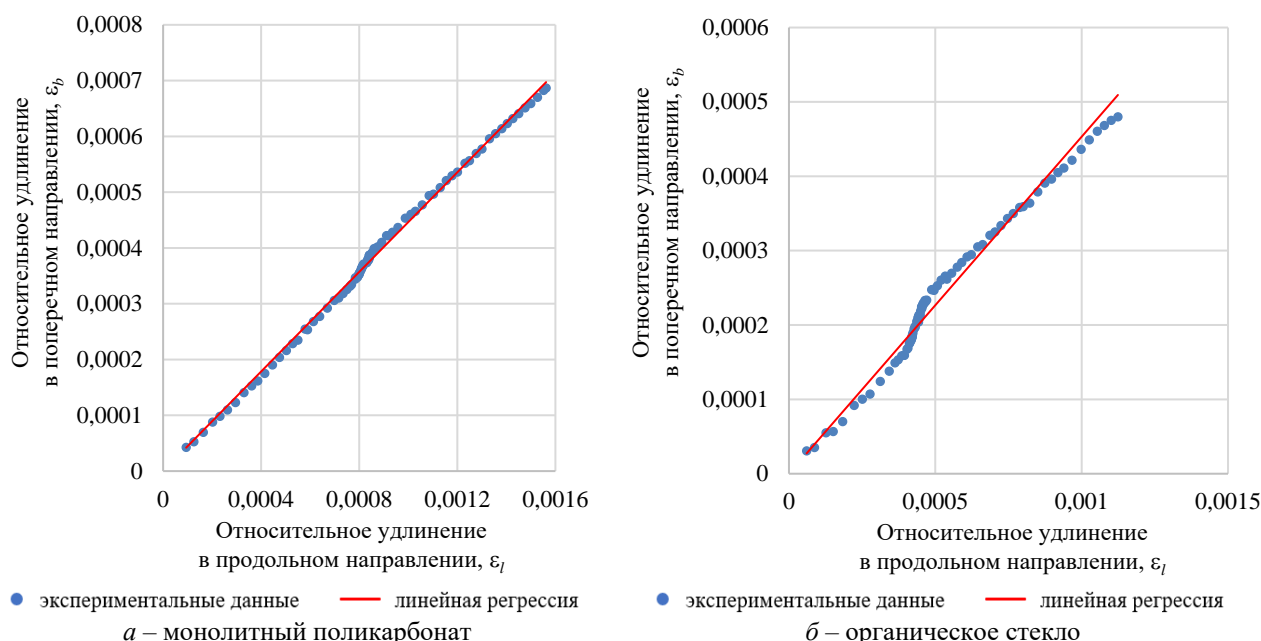
Испытания проводились с использованием электромеханической испытательной машины MTS Criterion 43 (MTS Systems Corporation), имеющей следующие характеристики: максимальная нагрузка 50 кН; точность по нагрузке 0,5 %; точность перемещения траверсы 0,2 % от заданной скорости. Скорость перемещения подвижного захвата при испытаниях составляла 1 мм/мин, деформации образцов измеряли с помощью двухосного электронно-механического экстензометра навесного типа с контактными рычагами (база 25,40 мм) с точностью 0,000001 мм по продольной деформации и 0,00000001 мм по поперечной. Диаграммы растяжения регистрировались в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения MTS TestSuite.

Для определения коэффициента Пуассона измеряли уменьшение ширины образцов. Образцы нагружали растягивающими нагрузками до 110...120 Н и регистрировали 80...90 экспериментальных точек продольных и соответствующих им поперечных деформаций.

На основании показаний экстензометра в области до достижения образцом предела текучести был построен график зависимости ширины образца от его расчетной длины. Затем в интервале, следующем за областью влияния изменения скорости испытания, строился график зависимости относительного изменения ширины образца  $\epsilon_b$  от относительного изменения его расчетной длины  $\epsilon_l$ . В проведенном эксперименте указанный интервал имел вид  $0,0001 \leq \epsilon_l \leq 0,0016$ . Согласно п. 10.4 ГОСТ 34370-2017 наклон линии регрессии, подобранной методом наименьших квадратов для построенной зависимости  $\epsilon_b$  от  $\epsilon_l$ , численно равен коэффициенту Пуассона. Полученные графики линейной регрессии для одного образца монолитного поликарбоната и одного образца органического стекла представлены на рисунке 6.

<sup>7</sup> См. сноску 2.

<sup>8</sup> См. сноску 1.



**Рисунок 6. – Графики линейной регрессии для определения  $E_t$  методом наименьших квадратов образца монолитного поликарбоната и органического стекла**

Коэффициент Пуассона для монолитного поликарбоната  $\mu_{cp} = 0,4620 \pm 0,0003$  для органического стекла –  $\mu_{cp} = 0,4819 \pm 0,0008$ .

Модуль сдвига  $G$  (модуль упругости при сдвиге) для однородных изотропных материалов, которыми являются монолитный поликарбонат и органическое стекло, связан с модулем упругости  $E_t$  и вычисляется через коэффициент Пуассона  $\mu$ :

$$G = \frac{E_t}{2(1 + \mu)}.$$

Модуль сдвига для монолитного поликарбоната  $G = 843 \pm 11$  МПа для органического стекла –  $G = 1186 \pm 24$  МПа.

### Заключение

Проведение экспериментальных исследований позволило получить данные о прочностных и деформационных свойствах полимерных материалов, диаграммы растяжения и изгиба оргстекла и монолитного поликарбоната. Определены следующие характеристики для монолитного поликарбоната: предел прочности монолитного поликарбоната при растяжении  $59,6 \pm 1,2$  МПа, модуль упругости при растяжении  $2465 \pm 31$  МПа, предел прочности при изгибе  $84 \pm 4$  МПа, коэффициент Пуассона  $0,4620 \pm 0,0003$ , модуль сдвига  $843 \pm 11$  МПа. Для органического стекла: предел прочности при растяжении  $25 \pm 2$  МПа, модуль упругости при растяжении  $3515 \pm 72$  МПа, предел прочности при изгибе  $115 \pm 7$  МПа, коэффициент Пуассона  $0,4819$ , модуль сдвига  $1186 \pm 24$  МПа.

Анализ диаграмм изгиба и растяжения показал, что после достижения предела текучести растягивающая нагрузка в монолитном поликарбонате падает и выходит на сравнительно стабильный уровень, а на рабочем участке образцов образуется шейка, и дальнейшие деформации образцов происходят в этой области. Для органического стекла диаграмма растяжения характерна для хрупкого материала, разрушающегося без проявления текучести при низких относительных удлинениях. При изгибе для поликарбоната разрушения не происходило, нагружающий наконечник проталкивал сложенные образцы между опорами, для органического стекла происходило хрупкое разрушение образца.

Полученные результаты будут использованы для расчета значения коэффициентов вскрытия легкобросаемых конструкций с использованием полимерных материалов; для

получения алгебраических уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние оконного блока со светопрозрачным заполнением при воздействии со стороны защищаемого объема равномерно распределенной нагрузки в зависимости от геометрических размеров, физико-механических характеристик применяемого полимерного материала и величины прилагаемой нагрузки.

Результаты исследований получены в рамках выполнения научно-исследовательской работы при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект T21M-103).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dust explosion venting protective systems: EN Standard 14491 vs. VDI Guideline 3673 [Electronic resource] // Norma Europea: UNI EN 14491. – Mode of access: [https://www.mvtplant.com/wp-content/uploads/2015/01/UNI-EN-14491\\_2012-Sistemi-di-protezione-sfogo-esplosione-polveri.pdf](https://www.mvtplant.com/wp-content/uploads/2015/01/UNI-EN-14491_2012-Sistemi-di-protezione-sfogo-esplosione-polveri.pdf). – Date of access: 05.03.2022.
2. Guide for Venting of Deflagrations: NFPA 68 [Electronic resource]: 2002 Edition. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2002. – 66 p. – Mode of access: [http://www.hysafe.org/img/NFPA68\\_2002.pdf](http://www.hysafe.org/img/NFPA68_2002.pdf). – Date of access: 05.03.2022.
3. Моделирование пожаров и взрывов / под общ. ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. – М.: Ассоциация «Пожнаука», 2000. – 482 с.
4. Пилюгин, Л.П. Конструкции сооружений взрывоопасных производств (теоретические основы проектирования) / Л.П. Пилюгин. – М.: Стройиздат, 1988. – 316 с.
5. Пенязьков, О.Г. Определение избыточного давления вскрытия оконных блоков при дефлаграционном взрыве в замкнутом объеме / О.Г. Пенязьков [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2007. – № 1 (5). – С. 65–74. – EDN: SMTLBN.
6. Бунто, О.В. Анализ вопроса защиты зданий и сооружений при внутреннем взрыве газопылевоздушной смеси / О.В. Бунто, А.С. Миканович // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2022. – Т. 1, № 51. – С. 31–40. – DOI: 10.54422/1994-439X.2022.1-51.31-39. – EDN: SHPVWZ.
7. Бунто, О.В. Анализ существующих требований, предъявляемых к светопрозрачному заполнению оконных блоков легкобросываемых конструкций в части сопротивления теплопередаче, светопропускной способности / О.В. Бунто, А.С. Миканович, С.М. Жамойдик // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2022. – Т. 1. – № 51. – С. 48–58. – DOI: 10.54422/1994-439X.2022.1-51.48-57. – EDN: DJEBCG.
8. Поликарбонат [Электронный ресурс] // Литье пластмасс: справочник по литьевым термопластичным материалам / И.А. Барвинский. – Режим доступа: [http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials\\_PC.htm](http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_PC.htm). – Дата доступа: 05.03.2022.
9. Физические величины: справочник / А.П. Бабичев [и др.]; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
10. Полиметилметакрилат, сополимеры метилметакрилата [Электронный ресурс] // Литье пластмасс: справочник по литьевым термопластичным материалам / И.А. Барвинский. – Режим доступа: [http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials\\_PMMA.htm](http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_PMMA.htm). – Дата доступа: 05.03.2022.
11. Оргстекло: тепловые и механические характеристики [Электронный ресурс] // Thermalinfo.ru – справочник по свойствам веществ и материалов: плотность, теплопроводность, теплоемкость, вязкость и другие физические свойства веществ в таблицах в зависимости от температуры и давления. – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/plastmassa-i-plastik/orgsteklo-teplovyue-i-mehanicheskie-harakteristiki>. – Дата доступа: 05.03.2022.
12. Кацнельсон, М.Ю. Пластические массы. Свойства и применение: справочник / М.Ю. Кацнельсон, Г.А. Балаев. – 3-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1978. – 384 с.
13. Поликарбонат [Электронный ресурс] // Машиностроительное проектирование: проектно-информационный портал alexfl.pro. – Режим доступа: [https://alexfl.pro/katalog/katalog\\_polikarbon.html](https://alexfl.pro/katalog/katalog_polikarbon.html). – Дата доступа: 05.03.2022.
14. Крыжановский, В.К. Технические свойства полимерных материалов: учеб.-справ. пособие / В.К. Крыжановский [и др.]. – СПб.: Профессия, 2007. – 240 с.



**Экспериментальные исследования прочностных и деформационных свойств полимерных материалов, рассматриваемых в качестве светопрозрачного заполнения легкобрасываемых конструкций**

**Experimental investigations of strength and deformation properties of polymeric materials considered as a translucent filling of easy-to-reset structures**

***Бунто Оксана Викторовна***

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра автоматических систем безопасности, преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь  
Email: lyubimova.oksana94@inbox.ru  
ORCID: 0000-0002-5807-3347

***Oksana V. Bunto***

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Automatic System Security, Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus  
Email: lyubimova.oksana94@inbox.ru  
ORCID: 0000-0002-5807-3347

***Жамойдик Сергей Михайлович***

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра пожарной безопасности, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь  
Email: zhamoidik.kii@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-0407-5176

***Sergey M. Zhamoydik***

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Fire Safety, Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus  
Email: zhamoidik.kii@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-0407-5176

## EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF POLYMERIC MATERIALS CONSIDERED AS A TRANSLUCENT FILLING OF EASY-TO-RESET STRUCTURES

Bunto O.V., Zhamoydik S.M.

*Purpose.* By means of experimental studies to determine the physical and mechanical properties of polymeric materials that affect the process of opening easily ejected structures.

*Methods.* Experimental research, comparative analysis methods.

*Findings.* Experimental studies were carried out to determine the physical and mechanical properties of polymeric materials. Based on the results of experimental studies, the data were obtained on the strength and deformation properties of polymeric materials (modulus of elasticity and ultimate tensile strength; modulus of elasticity and ultimate strength in bending; Poisson's ratio; shear modulus). It has been established that the diagram of tension and bending of plexiglass is characteristic for a brittle material that breaks down without yielding at low relative elongations. The tensile and bending diagram of monolithic polycarbonate has a form typical for a material subject to ductile fracture.

*Application field of research.* The results obtained can be used in the development of the design of an easily ejected window unit or aeration lantern of a building using polymers as a translucent filling.

*Keywords:* easy-to-reset structures, physical and mechanical properties, deformation, bending, tension, experimental research.

(The date of submitting: January 12, 2023)

### REFERENCES

1. *Dust explosion venting protective systems: EN Standard 14491 vs. VDI Guideline 3673.* Norma Europea: UNI EN 14491. Available at: [https://www.mvtplant.com/wp-content/uploads/2015/01/UNI-EN-14491\\_2012-Sistemi-di-protezione-sfogo-esplosione-polveri.pdf](https://www.mvtplant.com/wp-content/uploads/2015/01/UNI-EN-14491_2012-Sistemi-di-protezione-sfogo-esplosione-polveri.pdf) (accessed: 05.03.2022).
2. *Guide for Venting of Deflagrations: NFPA 68: 2002 Edition.* Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2002. 66 p. Available at: [http://www.hysafe.org/img/NFPA68\\_2002.pdf](http://www.hysafe.org/img/NFPA68_2002.pdf) (accessed: 05.03.2022).
3. *Modelirovanie pozharov i vzryvov [Modeling of fires and explosions]* under total ed. N.N. Brushlinskiy, A.Ya. Korol'chenko. Moscow: Pozhnauka, 2000. 482 p. (rus)
4. Pilyugin L.P. *Konstruktsii sooruzheniy vzryvoopasnykh proizvodstv (teoreticheskie osnovy proektirovaniya) [Structures of explosive industries: (theoretical foundations of design)].* Moscow: Stroyizdat, 1988. 316 p. (rus)
5. Penyaz'kov O.G., Shabunya S.I., Usov A.M., Tereshenkov V.I., Mikanovich A.S. *Opreделение избыточного давления вскрытия оконных блоков при дефлаграционном взрыве в замкнутом объеме [Determination of excessive pressure of opening window blocks during a deflagration explosion in a closed volume].* *Vestnik Komandno-inzhener'nogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2007. No. 1 (5). Pp. 65–74. (rus). EDN: SMTLBN.
6. Bunto O.V., Mikanovich A.S. *Analiz voprosa zashchity zdaniy i sooruzheniy pri vnutrennem vzryve gazo-pylevozdushnoy smesi [Analysis of buildings protection from the impact of internal explosion of the gas- dust- air mixture].* *Emergency situations: prevention and elimination*, 2022. No. 1 (51). Pp. 31–40. (rus). DOI: 10.54422/1994-439X.2022.1-51.31-39. EDN: SHPVWZ.
7. Bunto O.V., Mikanovich A.S., Zhamoydik S.M. *Analiz sushchestvuyushchikh trebovaniy, pred'yavlyaemykh k svetoprozrachnomu zapolneniyu okonnykh blokov legkosbrasyvaemykh konstruktsiy v chasti soprotivleniya teploperedache, svetopropusknoy sposobnosti [Analysis of existing requirements for a translucent filling of window blocks of explosion relief structures in part of resistance to heat transfer, light transmission].* *Emergency situations: prevention and elimination*, 2022. No. 1 (51). Pp. 48–58. (rus). DOI: 10.54422/1994-439X.2022.1-51.48-57. EDN: DJEBCG.
8. *Polikarbonat [Polycarbonate].* In Barvinskiy I.A. *Lit'e plastmass [Plastic molding]: guide of thermoplastics for injection molding.* Available at: [http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials\\_PC.htm](http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_PC.htm) (accessed: March 05, 2022). (rus)
9. Babichev A.P., Babushkina N.A., Bratkovskiy A.M. et al. *Fizicheskie velichiny [Physical quantities]: handbook.* Ed. by I.S. Grigor'ev, E.Z. Meylikhov. Moscow: Energoatomizdat, 1991. 1232 p. (rus)

10. Polimetilmetakrilat, sopolimery metilmetakrilata [Polymethyl methacrylate, methyl methacrylate copolymers]. In Barvinskiy I.A. *Lit'e plastmass* [Plastic molding]: *guide of thermoplastics for injection molding*. Available at: [http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials\\_PMMA.htm](http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_PMMA.htm) (accessed: March 05, 2022). (rus)
11. Orgsteklo: teplovye i mekhanicheskie kharakteristiki [Plexiglas: thermal and mechanical characteristics]. *Thermalinfo.ru – a guide to the properties of substances and materials: density, thermal conductivity, heat capacity, viscosity, and other physical properties of substances in tables depending on temperature and pressure*. Available at: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/plastmassa-i-plastik/orgsteklo-teplovye-i-mehanicheskie-harakteristiki> (accessed: March 05, 2022). (rus)
12. Katsnel'son M.Yu., Balaev G.A. *Plasticheskie massy. Svoystva i primeneniye* [Plastic masses. Properties and application]: handbook. 3-ed. Leningrad: Khimiya, 1978. 384 p. (rus)
13. Polikarbonat [Polycarbonate]. *Mashinostroitel'noe proektirovanie: proektno-informatsionnyy portal alexfl.pro* [Engineering design: design and information portal alexfl.pro]. Available at: [https://alexfl.pro/katalog/katalog\\_polikarbon.html](https://alexfl.pro/katalog/katalog_polikarbon.html) (accessed: March 05, 2022) (rus)
14. Kryzhanovskiy V.K., Burlov V.V., Panimatchenko A.D., Kryzhanovskaya Yu.V. *Tekhnicheskie svoystva polimernykh materialov* [Technical properties of polymeric materials]: tutorial. St. Petersburg: Professiya, 2007. 240 p. (rus)