

УДК 620.171.620.192.46

DOI 10.18698/0536-1044-2016-7-11-18

## Расчетно-экспериментальная методика оценки трещиностойкости клеевых соединений

С.И. Корягин, С.В. Буйлов, Н.Л. Великанов, О.В. Шарков

БФУ им. И. Канта, 236041, Калининград, Российская Федерация, ул. А. Невского, д. 14

## The Computational and Experimental Method of Estimating Crack Resistance of Adhesive Joints

S.I. Koryagin, S.V. Buylov, N.L. Velikanov, O.V. Sharkov

Immanuel Kant Baltic Federal University, 236041, Kaliningrad, Russian Federation, A. Nevskiy St., Bldg. 14

@ e-mail: SKoryagin@kantiana.ru, SBuilov@kantiana.ru, NVelikanov@kantiana.ru, o\_sharkov@mail.ru

**i** Трещиностойкость — важный параметр, определяющий несущую способность и долговечность клеевых соединений. Существующие методики оценки их трещиностойкости не всегда дают достоверные результаты, так как полученные экспериментальные данные могут включать в себя несколько взаимосвязанных параметров. Теоретический расчет трещиностойкости также является сложной задачей. Предложена расчетно-экспериментальная методика, позволяющая повысить точность и достоверность оценки трещиностойкости клеевых композиций. Эта методика может быть реализована с использованием испытательной установки, обеспечивающей нагружение двойных склеенных консольных балок равными и противоположно направленными моментами. Для определения удельной энергии продвижения трещины получена математическая модель, включающая только один независимый параметр (изгибающий момент). Установлено, что изменение размеров поперечного сечения и толщины клеевой композиции экспериментальных образцов оказывает незначительное влияние на разброс значений энергии продвижения трещины.

**Ключевые слова:** клеевое соединение, трещиностойкость, энергия продвижения трещины, клеевая композиция, несущая способность.

**i** Crack resistance is an important parameter determining the carrying capacity and durability of adhesive joints. The existing methods of estimating crack resistance do not always produce reliable results because the experimental data may include several interdependent parameters. Theoretical calculation of crack resistance is also a complex problem. The computational and experimental method that can increase the accuracy and reliability of crack resistance estimation of adhesive compositions is proposed. This method can be implemented using a test station that ensures loading of double glued cantilever beams by equal and oppositely directed moments. To determine specific crack advancing energy, the mathematical model that includes only one independent parameter (bending moment) is obtained. It has been established that the change in the dimensions of the cross section and thickness of the proposed experimental models has an insignificant effect on the value range of crack advancing energy.

**Keywords:** adhesive joint, crack resistance, crack advancing energy, adhesive composition, carrying capacity.

В настоящее время клеевые соединения находят широкое применение в различных отраслях промышленности: машино-, автомобиле-, авиа-, судостроении и др. [1–9].

Цель работы — создание методики, обеспечивающей повышение достоверности оценки характеристик трещиностойкости клеевых соединений, с учетом их геометрических размеров и экспериментально определенного силового фактора.

Несущую способность конструкционных клеевых соединений определяет не столько прочность клеевых композиций, сколько возникающая в них концентрация напряжений за счет образования в процессе склеивания технологических дефектов: пустот, инородных включений, областей с отсутствующей или слабой адгезионной связью.

При этом в клеевом слое (шве) возникает неоднородное напряженное состояние вследствие различия прочностных характеристик клеевых композиций и соединяемых материалов. Окружающая среда также оказывает неравномерное разупрочняющее действие на клеевой слой.

Одним из важнейших параметров, определяющих несущую способность клеевых соединений, является трещиностойкость. Несмотря на многочисленные теоретические и экспериментальные исследования по оценке трещиностойкости клеевых соединений, этот вопрос остается не полностью исследованным. Так, многие полученные результаты являются несравнимыми, а некоторые — недостоверными вследствие некорректного планирования экспериментов, поскольку могут включать в себя параметры, не являющиеся независимыми. В результате этого параметр, характеризующий работу, затрачиваемую на деформирование склеиваемых деталей, может быть преобладающим [1, 10–17].

Для оценки трещиностойкости клеевых соединений можно использовать три параметра: коэффициент интенсивности напряжений, коэффициент раскрытия трещины и удельную энергию продвижения трещины (УЭПТ) [1, 10–12, 18].

Оценка трещиностойкости с помощью коэффициентов интенсивности напряжений и раскрытия трещины требует теоретического и экспериментального анализа сложного напряженного состояния тонкого слоя клея, что представляет собой достаточно сложную зада-

чу. Поэтому при оценке трещиностойкости клеевых соединений обычно используют энергетический критерий — УЭПТ (силу продвижения трещины).

Для повышения точности и достоверности определения УЭПТ авторами разработана расчетно-экспериментальная методика.

В настоящее время существует большое количество методических рекомендаций и стандартов по оценке несущей способности клеевых соединений при различных видах приложения нагружающих усилий, которые с определенными допущениями могут быть применены и для оценки их трещиностойкости [10, 18–25].

В качестве базовой выбрана известная методика испытания клеевого соединения на трещиностойкость, заключающаяся в том, что к двухконсольному образцу прикладывают изгибающую нагрузку в виде усилий, действующих перпендикулярно консольным балкам. При этом регистрируют изменение нагрузки и соответствующее ей изменение длины образующейся в клеевом слое соединения трещины. Затем определяют УЭПТ и по ней судят о трещиностойкости [10].

При такой постановке эксперимента длина растущей трещины оказывает существенное влияние на стабильность результатов испытаний, что приводит к недостаточной точности полученных данных.

**Описание разработанной методики.** Сущность методики заключается в следующем. Экспериментальный образец (рис. 1) выполняют в виде двух консольно закрепленных балок 1 и 3, соединенных клеевой композицией 2. Силы  $F$ , создающие изгибающий момент на каждой балке, прикладывают с помощью специальных

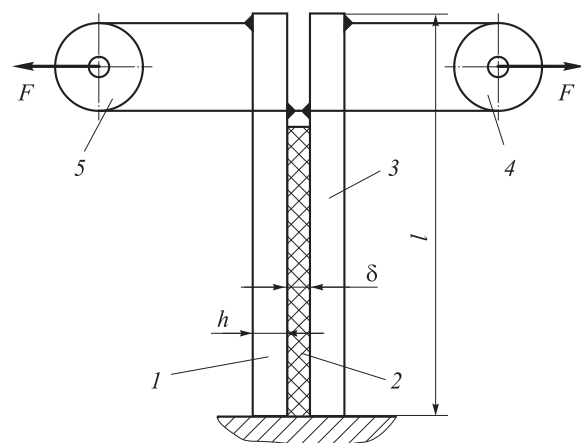


Рис. 1. Схема испытательной установки

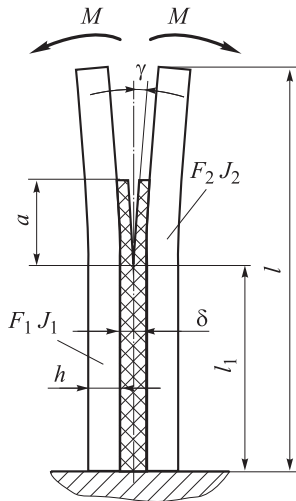


Рис. 2. Расчетная схема оценки трещиностойкости

нагружающих устройств 4 и 5, состоящих из блоков и гибких нитей. Концы каждой из нитей соединены с обеими консольными балками, вследствие чего нагрузка к балкам передается в виде равных и противоположно направленных моментов  $M$  (рис. 2). Нагружение экспериментальных образцов вызывает разрушение клеевого соединения, сопровождающееся образованием и ростом трещины в его плоскости.

Повышение точности в этом случае обеспечено за счет создания идентичных условий трещинообразования при нагружении, которое прекращают, когда длина  $l_1$  неразрушенной части клеевого соединения составляет более четырех высот  $h$  образцов ( $l_1 > 4h$ ).

**Математическая модель.** Получим математическую модель, описывающую параметры трещиностойкости клеевой композиции (см. рис. 2).

Известна зависимость для определения УЭПТ

$$G_I = \frac{M^2}{2b} \frac{dC}{da}, \quad (1)$$

где  $M$  — изгибающий момент;  $C$  — податливость заделки консольных балок;  $b$  — ширина консольных балок (клеявого соединения);  $a$  — длина трещины.

В предложенной расчетной схеме при нагружении изгибающими моментами экспериментальный образец накапливает потенциальную энергию, которую можно определить по выражению

$$U = \frac{1}{2} MC = M^2 \left[ \frac{a}{2E_1 J_1} + \frac{\alpha_1}{2} + \frac{k^2 a}{2E_2 J_2} + \frac{\alpha_2}{2} + \right.$$

$$\left. + \frac{(l-k)^2(l-a)}{2(EJ)_0} \right], \quad (2)$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от характеристик материала и размеров консольных балок;  $l$  — длина консольных балок;  $E_1, E_2$  — модули упругости материала консольных балок;  $J_1, J_2$  — моменты инерции поперечных сечений консольных балок;  $\alpha_1, \alpha_2$  — коэффициенты податливости заделки консольных балок;  $(EJ)_0$  — изгибная жесткость единицы длины экспериментального образца.

Решая совместно уравнения (1) и (2), получим следующее выражение для определения УЭПТ:

$$G_I = \frac{M^2}{2b} \left[ \frac{1+k^2}{EJ} - \frac{(1-k)^2}{(EJ)_0} \right]. \quad (3)$$

Выражение (3) получено с учетом того, что экспериментальный образец состоит из двух консольных балок с одинаковыми параметрами ( $E_1 = E_2 = E; J_1 = J_2 = J$ ).

При этом принято допущение  $\alpha_1 = \alpha_2 = \text{const}$ , для подтверждения справедливости которого выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния различных вариантов экспериментальных образцов. Рассчитаны варианты балок со следующими модулями упругости материалов:  $2,1 \cdot 10^5$  МПа (углеродистая сталь);  $7 \cdot 10^4$  МПа (алюминиевые сплавы);  $2,9 \cdot 10^3$  МПа (оргстекло). Высоты балок принимали в диапазоне  $h = 2 \dots 12$  см. В качестве клеевых композиций использовали Спрут-5М, ВАК-А, Спрут Плюс (см. таблицу) с соответствующими толщинами клеевого шва  $\delta = 0,1; 0,25; 0,5$  мм.

Обобщенные результаты расчета зависимости напряжений  $\sigma$  от длины балок  $l$  в безразмерном виде приведены на рис. 3. Анализ гра-

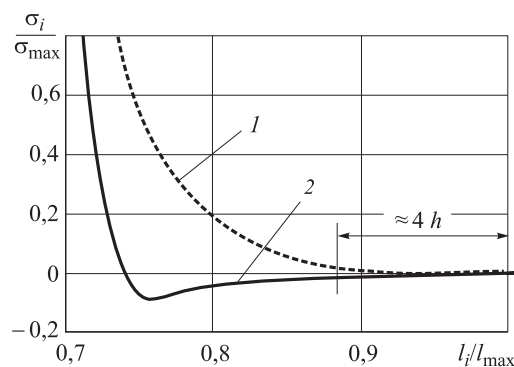


Рис. 3. Распределение напряжений в материале балок (1) и клеевой композиции (2) по длине консольного образца

### Основные технологические характеристики клеевых композиций

Характеристика	Клеевая композиция		
	ВАК-А	Спрут Плюс	Спрут-5М
Условная вязкость по ВЗ-246, с	70...80	30...60	20...35
Прочность на воздухе [10], МПа, при:			
	равномерном отрыве	10,8	8,5
сдвиге	10,1	9,3	7,0
Температура эксплуатации, °С	-40...+80	-60...+100	-10...+60

фиков показал, что напряжения, возникающие в материале балок и клеевой композиции на расстоянии четырех толщин консоли  $4h$ , уменьшаются до ничтожно малых величин. Следовательно, длина участка, в пределах которого напряженное состояние, соответствующее изгибу отдельных балок, переходит к напряженному состоянию изгиба неразрушенной части образца, не превышает четырех высот консоли балки ( $l_1 \leq 4h$ ).

Таким образом, если в процессе испытания часть образца длиной более четырех высот балки не разрушена, то характер распределения напряжений не изменится, что обеспечит постоянство коэффициентов податливости.

Существенным достоинством выражения (3) является его простота, так как оно позволяет оценивать трещиностойкость с использованием только одного независимого параметра — изгибающего момента  $M$ , который определяют экспериментально.

**Экспериментальные результаты.** Расчетно-экспериментальную оценку характеристик трещиностойкости клеевого соединения по предложенной методике проводили с использованием специально разработанной экспериментальной установки (см. рис. 1).

При проведении испытаний использовали балки прямоугольного сечения  $b \times h$ , изготовленные из стали Ст3. Нагружение экспериментального образца выполняли при постоянной скорости перемещения нагружающих устройств.

Изгибающие моменты  $M$  и углы  $\gamma$  раскрытия трещины измеряли с помощью тензодатчиков типа 2ПКБ-10-100×В. Для регистрации сигнала тензодатчиков применяли регистрирующую аппаратуру — двухкоординатный графопостроитель Н306.

В результате испытаний установлен характер зависимости момента  $M$  от угла  $\gamma$  поворота кле-

евых композиций трех типов: ВАК-А, Спрут Плюс и Спрут-5М (см. таблицу). Стандартные прочностные характеристики клеевых композиций определяли согласно работам [19, 20].

Анализ полученных результатов (рис. 4) показал, что характер развития трещины для клеевой композиции Спрут-5М носит устойчивый характер, а для композиций Спрут Плюс и ВАК-А — скачкообразный. В последнем случае вскоре после начала образования трещины наблюдалась высокая скорость ее развития, которая затем непрерывно замедлялась вплоть до полной остановки.

Такой характер развития трещины можно объяснить превышением скорости образования

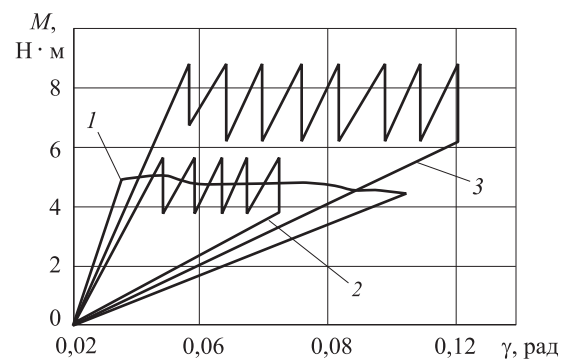


Рис. 4. Зависимость момента  $M$  от угла  $\gamma$  раскрытия трещины клеевых композиций: 1 — Спрут-5М; 2 — Спрут Плюс; 3 — ВАК-А

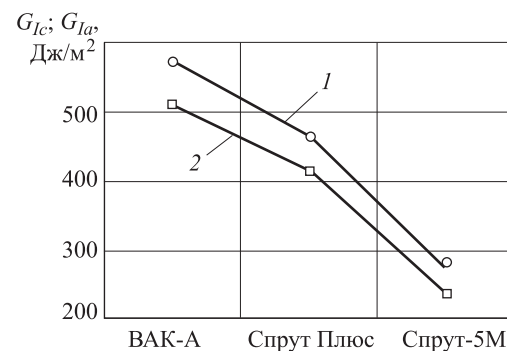


Рис. 5. Зависимость УЭПТ  $G_{1c}$  (1) и  $G_{1a}$  (2) от типа клеевой композиции

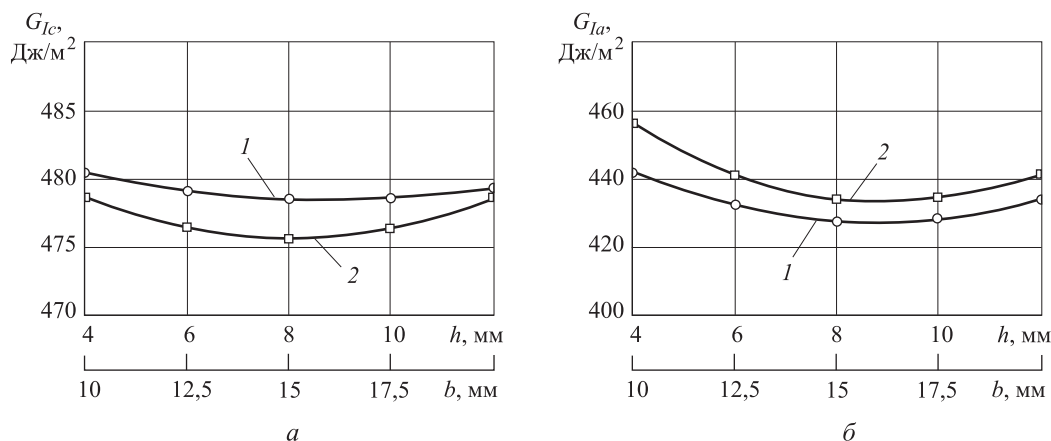


Рис. 6. Зависимости УЭПТ  $G_{Ic}$  (а) и  $G_{Ia}$  (б) от ширины  $b$  (1) и высоты  $h$  (2) консольной балки при развитии трещины

трещины над скоростью возникновения неупругих деформаций. Это явление происходило даже при наличии уже образовавшейся трещины.

При определении характеристик трещиностойкости клеевых соединений обычно учитывают два переходных состояния, что особенно важно в условиях неустойчивого развития трещин. Первое состояние, характеризующееся УЭПТ  $G_{Ic}$ , соответствует случаю, когда трещина делает резкий скачок. При работе по предложенной методике оно возникает при максимальном изгибном моменте. Второе состояние, характеризующееся УЭПТ  $G_{Ia}$ , соответствует случаю остановки развития трещины. Эту энергию определяли по значению изгибного момента при остановке развития трещины.

**Результаты расчетов.** Значения УЭПТ  $G_{Ic}$  и  $G_{Ia}$  рассчитывали по формуле (3) для соединений на основе клеевых композиций ВАК-А, Спрут Плюс и Спрут-5М.

Анализ средних значений УЭПТ  $G_{Ic}$  и  $G_{Ia}$  (рис. 5) показал, что покрытие на основе клеевой композиции ВАК-А имеет наибольшую трещиностойкость. В связи с этим дальнейшие расчеты по определению характера зависимости  $G_{Ic}$ ,  $G_{Ia}$  проводили только для клеевой композиции ВАК-А.

Как видно из рис. 6, при изменении ширины  $b$  консольной балки с 10 до 20 мм (в 2 раза) и высоты  $h$  с 4 до 12 мм (в 3 раза) УЭПТ  $G_{Ic}$  изменяется всего на 0,37 и 0,65 % соответственно, а  $G_{Ia}$  — на 0,84 и 1,24 % соответственно.

Как видно из рис. 7, изменение толщины слоя клеевой композиции с 0,5 до 2,5 мм (в 5 раз) приводит к наибольшему изменению  $G_{Ic}$  и  $G_{Ia}$  — на 3,37 и 1,98 % соответственно.

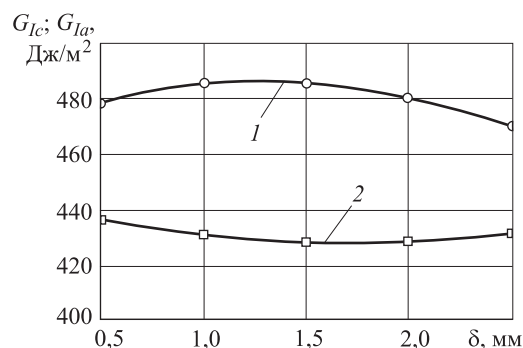


Рис. 7. Зависимость УЭПТ  $G_{Ic}$  (1) и  $G_{Ia}$  (2) от толщины  $\delta$  клеевой композиции

### Выводы

1. Предложена схема испытаний двойного консольного образца, при которой его нагружение проводят равными и противоположно направленными моментами, что гарантирует идентичные условия образования трещин во всем объеме клеевой композиции.

2. Установлено, что при изменении геометрических параметров консольных балок и толщины клеевой композиции происходит незначительный разброс значений УЭПТ. Так, при изменении размеров поперечного сечения — ширины в 2 раза и высоты в 3 раза — разброс не превышает 0,37...1,24 %, а при изменении в 5 раз толщины клеевой композиции — 1,98...3,37 %.

3. Выявлено, что покрытие на основе клеевой композиции ВАК-А имеет наибольшую трещиностойкость. У композиций Спрут Плюс и Спрут-5М по сравнению с ВАК-А значения трещиностойкости меньше на 19,9 и 53,3 % соответственно.

## Литература

- [1] Crococolo D. *Adhesives: Mechanical properties, technologies and economic importance*. New York, Nova Science Publishers Inc., 2014. 153 p.
- [2] Lees W.A. *Adhesives in engineering design*. Berlin, Springer Science & Business Media, 2013. 147 p.
- [3] Weitzenböck J.R. *Adhesives in Marine Engineering*. Oxford-New Delhi, Woodhead Publishing Limited, 2012. 218 p.
- [4] Scattina A., Roncato D., Belingardi G., Martino G. Investigation of creep phenomenon on composite material for bolt connections. *Composite Structures*, 2015, vol. 134, pp. 378–383.
- [5] Матлин М.М., Каблов В.Ф., Кейбал Н.А. *Современные клеи и клеевые соединения в транспортных средствах*. Волгоград, Изд-во ВолгГТУ, 2011. 111 с.
- [6] Бобович Б.Б. *Неметаллические конструкционные материалы*. Москва, МГИУ, 2009. 383 с.
- [7] Коноплин А.Ю., Баурова Н.И. Особенности применения клеесварных технологий при ремонтных работах. *Путь и путевое хозяйство*, 2015, № 6, с. 30–32.
- [8] Кудрина А.В. Клеевые и герметизирующие материалы, применяемые в авиационной промышленности и в машиностроении. *Энциклопедия инженера-химика*, 2014, № 6, с. 28–30.
- [9] Терехин А.В., Русин М.Ю., Неповинных В.И., Думанский А.М. Работоспособность эластомерных клеевых соединений конструкций летательных аппаратов в условиях продолжительного теплосилового воздействия. *Механика композиционных материалов и конструкций*, 2015, т. 21, № 4, с. 599–609.
- [10] Корягин С.И. *Несущая способность композиционных материалов*. Калининград, Янтарный сказ, 1996. 301 с.
- [11] Черепанов Г.П. *Механика разрушения композиционных материалов*. Москва, Наука, 1983. 296 с.
- [12] Финогенов Г.Н. Метод испытания клеевых соединений металлов на трещиностойкость. *Клеи. Герметики. Технологии*, 2007, № 5, с. 24–26.
- [13] Осипов Н.Л., Пирожков В.А., Чабунин И.С. К вопросу о прочности полимерных композитов, применяемых в автомобилестроении. *Известия Московского государственного технического университета МАМИ*, 2014, т. 1, № 2 (20), с. 45–47.
- [14] Gift M.D.M., Selvakumar J., Alexis S.J. Fracture studies of an adhesive joint involving composition alteration. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 2015, vol. 2015, April, pp. 269–273.
- [15] Chai H., Fox J. On delamination growth from channel cracks in thin-film coatings. *International Journal of Solids and Structures*, 2012, vol. 49, is. 22, pp. 3142–3147.
- [16] Meneghetti G., Quaresimin M., Ricotta M. Damage mechanisms in composite bonded joints under fatigue loading. *Composites Part B: Engineering*, 2012, vol. 43, is. 2, pp. 210–220.
- [17] Грабильников А.С., Ларина Н.Д. Методы определения трещиностойкости клеевых соединений. *Нестандартные методы исследования структуры и свойств полимерных материалов. Сб. науч. тр.* Москва, МАТИ, 1990, вып. 6, с. 12–24.
- [18] Полилов А.Н. *Экспериментальная механика композитов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 376 с.
- [19] ГОСТ 14759–69. *Клеи. Методы определения прочности при сдвиге*, Москва, Госстандарт РФ, 1998. 14 с.
- [20] ГОСТ 14760–69. *Клеи. Метод определения прочности при отрыве*, Москва, Госстандарт РФ, 1986. 7 с.
- [21] *Методические рекомендации. Определение характеристик трещиностойкости полимерных композиционных материалов при статических нагрузках*. Львов, ФМИ АН УССР, 1984. 78 с.
- [22] ISO 4587:2003. *Adhesives. Determination of tensile lap-shear strength of high strength adhesive bonds*, Geneva, ISO, 2003. 3 p.
- [23] ASTM D 5041:2012. *Standard Test Method for Fracture Strength in Strength in Cleavage of Adhesives in Bonded Joints*, USA, ASTM, 2012. 5 p.



- [24] BS 5350-C7:1990. *Methods of test for adhesives. Adhesively bonded joints: mechanical tests. Determination of creep and resistance to sustained application of force*, London, BSI, 1990. 3 p.
- [25] DIN EN 15337:2011. *Testing of adhesives for metals and adhesively bonded metal joints; compression shear test*, Berlin, DIN, 2011. 2 p.

## References

- [1] Crococolo D. *Adhesives: Mechanical properties, technologies and economic importance*. New York, Nova Science Publishers Inc., 2014. 153 p.
- [2] Lees W.A. *Adhesives in engineering design*. Berlin, Springer Science & Business Media, 2013. 147 p.
- [3] Weitzenböck J.R. *Adhesives in Marine Engineering*. Oxford–New Delhi, Woodhead Publishing Limited, 2012. 218 p.
- [4] Scattina A., Roncato D., Belingardi G., Martino G. Investigation of creep phenomenon on composite material for bolt connections. *Composite Structures*, 2015, vol. 134, pp. 378–383.
- [5] Matlin M.M., Kablov V.F., Keibal N.A. *Sovremennye klei i klevyye soedineniia v transportnykh sredstvakh* [Modern adhesives and glue joints in vehicles]. Volgograd, VSTU publ., 2011. 111 p.
- [6] Bobovich B.B. *Nemetallicheskie konstruksionnye materialy* [Metallic structural materials]. Moscow, Moscow state university of mechanical engineering (MAMI) publ., 2009. 383 p.
- [7] Konoplin A.Iu., Baurova N.I. Osobennosti primeneniia kleesvarnykh tekhnologii pri remontnykh rabotakh [Features of the application of the adhesive welding technology during repair works]. *Put' i putevoe khoziaistvo* [Railway Track and Facilities]. 2015, no. 6, pp. 30–32.
- [8] Kudrina A.V. Klevyye i germetiziruiushchie materialy, primeniaemye v aviatsionnoi promyshlennosti i v mashinostroenii [Adhesive and sealing materials used in aircraft industry and engineering industry]. *Entsiklopediia inzhenera-khimika* [Encyclopaedia of Chemical Engineer]. 2014, no. 6, pp. 28–30.
- [9] Terekhin A.V., Rusin M.Iu., Nepovinnykh V.I., Dumanskii A.M. Rabotosposobnost' elastomernykh klevykh soedinenii konstruksii letatel'nykh apparatov v usloviakh prodolzhitel'nogo teplosilovogo vozdeistviia [Serviceability of elastomeric adhesive joints of aircraft structures under extended thermal load-bearing effects]. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksii* [Journal on Composite Mechanics and Design]. 2015, vol. 21, no. 4, pp. 599–609.
- [10] Koriagin S.I. *Nesushchaia sposobnost' kompozitsionnykh materialov* [Bearing capacity of composite materials]. Kaliningrad, Iantarnyi skaz publ., 1996. 301 p.
- [11] Cherepanov G.P. *Mekhanika razrusheniia kompozitsionnykh materialov* [Fracture mechanics of composite materials]. Moscow, Nauka publ., 1983. 296 p.
- [12] Finogenov G.N. Metod ispytaniia klevykh soedinenii metallov na treshchinostoičnost' [Test Method adhesive metal compounds on crack]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants]. 2007, no. 5, pp. 24–26.
- [13] Osipov N.L., Pirozhkov V.A., Chabunin I.S. K voprosu o prochnosti polimernykh kompozitov, primeniaemykh v avtomobilestroenii [Strength of polymer composites used in automotive industry]. *Izvestiia Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI* [Proceedings of the Moscow State Technical University MAMI]. 2014, vol. 1, no. 2 (20), pp. 45–47.
- [14] Gift M.D.M., Selvakumar J., Alexis S.J. Fracture studies of an adhesive joint involving composition alteration. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 2015, vol. 2015, April, pp. 269–273.
- [15] Chai H., Fox J. On delamination growth from channel cracks in thin-film coatings. *International Journal of Solids and Structures*, 2012, vol. 49, is. 22, pp. 3142–3147.
- [16] Meneghetti G., Quaresimin M., Ricotta M. Damage mechanisms in composite bonded joints under fatigue loading. *Composites Part B: Engineering*, 2012, vol. 43, is. 2, pp. 210–220.
- [17] Grabil'nikov A.S., Larina N.D. Metody opredeleniia treshchinostoičnosti klevykh soedinenii [Methods for determination of fracture toughness of adhesive joints]. *Nestandartnye metody issledovaniia struktury i svoystv polimernykh materialov. Sbornik nauchnykh trudov* [Non-standard methods for studying the structure and properties of polymeric materials. Collection of scientific papers]. Moscow, MATI publ., 1990, is. 6, pp. 12–24.

- [18] Polilov A.N. *Eksperimental'naiia mekhanika kompozitov* [Experimental mechanics of composites]. Moscow, Bauman Press, 2015. 376 p.
- [19] GOST 14759-69. *Klei. Metody opredeleniia prochnosti pri sdvige* [State Standard 14759-69. Adhesives. Methods for determining the shear strength]. Moscow, Standartinform publ., 1998. 14 p.
- [20] GOST 14760-69. *Klei. Metod opredeleniia prochnosti pri otryve* [State Standard 14760-69. Adhesives. Method for determination of tearing strength]. Moscow, Standartinform publ., 1986. 7 p.
- [21] *Metodicheskie rekomendatsii. Opredelenie kharakteristik treshchinostoikosti polimernykh kompozitsionnykh materialov pri staticheskikh nagruzkakh* [Guidelines. Characterization of fracture toughness polymer composite materials under static loads]. L'vov, FMI AN USSR publ., 1984. 78 p.
- [22] ISO 4587:2003. *Adhesives. Determination of tensile lap-shear strength of high strength adhesive bonds*. Geneva, ISO, 2003. 3 p.
- [23] ASTM D 5041:2012. *Standard Test Method for Fracture Strength in Strength in Cleavage of Adhesives in Bonded Joints*. USA, ASTM, 2012. 5 p.
- [24] BS 5350-C7:1990. *Methods of test for adhesives. Adhesively bonded joints: mechanical tests. Determination of creep and resistance to sustained application of force*. London, BSI, 1990. 3 p.
- [25] DIN EN 15337:2011. *Testing of adhesives for metals and adhesively bonded metal joints; compression shear test*. Berlin, DIN, 2011. 2 p.

Статья поступила в редакцию 01.04.2016

## Информация об авторах

**КОРЯГИН Сергей Иванович** (Калининград) — доктор технических наук, профессор, директор Института транспорта и технического сервиса. БФУ им. И. Канта (236041, Калининград, Российская Федерация, ул. А. Невского, д. 14, e-mail: SKoryagin@kantiana.ru).

**БУЙЛОВ Сергей Владимирович** (Калининград) — кандидат технических наук, доцент кафедры технологии транспортных процессов и сервиса. БФУ им. И. Канта (236041, Калининград, Российская Федерация, ул. А. Невского, д. 14, e-mail: SBuilov@kantiana.ru).

**ВЕЛИКАНОВ Николай Леонидович** (Калининград) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии транспортных процессов и сервиса. БФУ им. И. Канта (236041, Калининград, Российская Федерация, ул. А. Невского, д. 14, e-mail: NVelikanov@kantiana.ru).

**ШАРКОВ Олег Васильевич** (Калининград) — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии транспортных процессов и сервиса. БФУ им. И. Канта (236041, Калининград, Российская Федерация, ул. А. Невского, д. 14, e-mail: o\_sharkov@mail.ru).

## Information about the authors

**KORYAGIN Sergey Ivanovich** (Kaliningrad) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Director. Institute of Transport and Technical Services, Immanuel Kant Baltic Federal University (236041, Kaliningrad, Russian Federation, A. Nevskiy St., Bldg. 14, e-mail: SKoryagin@kantiana.ru).

**BUYLOV Sergey Vladimirovich** (Kaliningrad) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Technology of Transport Processes and Services Department. Immanuel Kant Baltic Federal University (236041, Kaliningrad, Russian Federation, A. Nevskiy St., Bldg. 14, e-mail: SBuilov@kantiana.ru).

**VELIKANOV Nikolay Leonidovich** (Kaliningrad) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of Department, Technology of Transport Processes and Services. Immanuel Kant Baltic Federal University (236041, Kaliningrad, Russian Federation, A. Nevskiy St., Bldg. 14, e-mail: NVelikanov@kantiana.ru).

**SHARKOV Oleg Vasilyevich** (Kaliningrad) — Doctor of Science (Eng.), Associate Professor, Professor, Technology of Transport Processes and Services Department. Immanuel Kant Baltic Federal University (236041, Kaliningrad, Russian Federation, A. Nevskiy St., Bldg. 14, e-mail: o\_sharkov@mail.ru).