

**Received:** 20.11.2017

**Revised:** 26.12.2017

**Accepted:** 16.02.2018

**DOI:** 10.17804/2410-9908.2018.1.050-057

## DETERMINATION OF THE FRACTURE TOUGHNESS LIMIT OF POLYPROPYLENE PIPES

A. I. Gerasimov<sup>a)</sup>, E. V. Danzanova<sup>b)\*</sup>, G. V. Botvin<sup>c)</sup>

*Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
1 Oktyabrskaya St., 677891, Yakutsk, Russian Federation*

<sup>a)</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-4114-9955>,  [gerasimov2509@rambler.ru](mailto:gerasimov2509@rambler.ru);

<sup>b)</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-3445-0961>,  [dhv4071@mail.ru](mailto:dhv4071@mail.ru);

<sup>c)</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-7834-8144>,  [leb-0379@mail.ru](mailto:leb-0379@mail.ru)

\*Corresponding author. E-mail: Dhv4071@mail.ru

Address for correspondence: ul. Oktyabrskaya, 1, 677891, Yakutsk, Russian Federation

Tel.: +7(4112)35 72 93

At present, polypropylene pipes are most widely used in water supply systems. However, there are restrictions on the ambient temperature during their transportation. Thus, transportation, loading and unloading of polypropylene pipes are recommended to be carried out at an ambient temperature of at least minus 10 °C. Transportation is allowed at temperatures down to minus 20 °C, with fixation of pipes and observation of special precautions. This paper presents the results of testing samples of polypropylene pipes for crack resistance at different temperatures. The influence of the surface layer of the outer and inner walls of the pipes on fracture toughness is investigated. The results demonstrate that the removal of the surface layer from the inner wall of the pipe increases the value of the fracture toughness limit.

**Keywords:** polypropylene, fracture toughness limit, tension, incision, surface layer.

### References

1. Alekseev A.V., Glukhova O.V., Islamov A.R., Sergeev S.M., Minkevich A.B. The state and development prospects of plastic pipelines in Russia. *The electronic scientific journal Oil and Gas Business*, 2004, no. 2, pp. 1–4. (In Russian). Available at: [http://ogbus.ru/authors/Alekseev/Alekseev\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Alekseev/Alekseev_1.pdf)
2. Willoughby D.A., Woodson R.D., Sutherland R. *Plastic Piping: Handbook*. McGraw Hill Professional, 2002, 750 p.
3. SP 40-101-96. Svod pravil po proektirovaniyu i montazhu truboprovodov iz polipropilena “Random sopolimer” [Design and Laying of “Random Copolymer” Polypropylene Pipelines: Handbook of Instructions]. Moscow, Ministry of Russia GUP TsPP Publ., 1997, 33 p. (In Russian).
4. Kaigorodov G.K., Kargin V.Yu. The effect of cooling rate of a polyethylene weld on its strength. *Truboprovody i Ekologiya*, 2001, no. 2, pp.13–14. (In Russian).
5. Ramsaroop A., Kanny K., Mohan T.P. Fracture Toughness Studies of Polypropylene-Clay Nanocomposites and Glass Fibre Reinforced Polypropylene Composites. *Materials Sciences and Applications*, 2010, vol. 1, pp. 301–309. DOI: 10.4236/msa.2010.15044.
6. Rodionov A.K., Babenko F.I. Estimation of crack resistance of butt welding joints of gas pipes from PE80. *The electronic scientific journal Oil and Gas Business*, 2012, no. 5, pp. 435–446. (In Russian). Available at: <http://ogbus.ru/article/ocenka-treshhinostojkosti-svarnyx-stykovyx-soedinenij-gazoprovodov-izgotovlennyx-iz-polietilenovyx-trub-pe-80-2>

7. Cherepanov G.P. *Mekhanika razrusheniya kompozitsionnykh materialov* [Mechanics of Fracture of Composite Materials]. Moscow, Nauka Publ., 1983, 296 p. (In Russian).

Подана в журнал: 20.11.2017

УДК 620.172.21

DOI: 10.17804/2410-9908.2018.1.050-057

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБ

А. И. Герасимов<sup>а)</sup>, Е. В. Данзанова<sup>б)\*</sup>, Г. В. Ботвин<sup>в)</sup>

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем нефти и газа СО РАН,  
677891, ул. Октябрьская, 1, г. Якутск, Российская Федерация*

<sup>а)</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-4114-9955>,  [gerasimov2509@rambler.ru](mailto:gerasimov2509@rambler.ru);

<sup>б)</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-3445-0961>,  [dhv4071@mail.ru](mailto:dhv4071@mail.ru);

<sup>в)</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-7834-8144>,  [leb-0379@mail.ru](mailto:leb-0379@mail.ru)

\*Ответственный автор. Электронная почта: Dhv4071@mail.ru

Адрес для переписки: 677891, ул. Октябрьская, 1, Якутск, Российская Федерация

Тел.: +7(4112)35-72-93

В настоящее время полипропиленовые трубы широко используются в системах водоснабжения. Но существуют ограничения по температуре окружающего воздуха при их транспортировке. Так, транспортирование, погрузки и разгрузки полипропиленовых труб рекомендуется проводить при температуре окружающего не ниже  $-10$  °С, транспортирование при температуре до  $-20$  °С допускается при фиксации труб и соблюдении особых мер предосторожности. В работе приводятся результаты испытаний образцов полипропиленовых труб на трещиностойкость при различных температурах. Исследовано влияние поверхностного слоя наружной и внутренней стенок труб на вязкость разрушения. Результаты показали, что удаление поверхностного слоя с внутренней стенки труб приводит к увеличению значения предела трещиностойкости.

**Ключевые слова:** полипропилен, предел трещиностойкости, растяжение, надрез, поверхностный слой.

### 1. Введение

Полипропиленовые (ПП) трубы наиболее востребованы в инженерных сетях тепло- и водоснабжения. Это связано прежде всего с долговечностью, простотой монтажа, легкого веса и т. д. [1–2]. Однако, повсеместное широкое внедрение полипропиленовых труб сдерживается ограничениями по температуре окружающего воздуха (ОВ) при транспортировании и сварке. Так, в действующих нормативных документах указано, что транспортирование, погрузка и разгрузка полипропиленовых труб должны проводиться при температуре наружного воздуха не ниже минус  $10$  °С, а при температуре до минус  $20$  °С транспортирование допускается только при использовании специальных устройств, обеспечивающих фиксацию труб, а также принятии особых мер предосторожности [3].

Полимерные трубы производятся способом непрерывной горячей экструзии при интенсивном охлаждении наружной стенки трубы. В связи с этим, для наружной стенки труб характерна мелкокристаллическая структура. Для внутренней стенки трубы вследствие медленного охлаждения характерна крупносферолитная структура, которая обеспечивает снижение ударной вязкости материала [4]. Исключение слоя с крупносферолитной структурой материала могло бы привести к улучшению его свойств. В открытых научных источниках имеются данные по исследованию трещиностойкости композитных материалов на основе полипропилена при испытаниях на трехточечный изгиб [5]. Было установлено, что

композиты полипропилена с армированными волокнами показывают высокие значения трещиностойкости.

Цель данной работы – исследование влияния поверхностного слоя внутренней и наружной стенки полипропиленовых труб на их трещиностойкость.

## 2. Материал и методика

В настоящее время наиболее широко используются трубы из материала PPRC «рандом-сополимер», так как трубы из этого материала термоустойчивы, абсолютно экологичны. Также эти трубы хорошо выдерживают испытания различными кислотными и щелочными растворами и при этом могут находиться в жидких агрессивных средах практически всё время без потери своих качеств, что позволяет использовать PPRC трубы соответствующих диаметров в химической и нефтехимической промышленности фактически без ограничения.

Эксперименты проводились согласно методике, изложенной в работе [6]. Испытывались при одноосном растяжении три партии образцов, вырезанные из полипропиленовых труб в форме полосок с размерами  $6 \times 16,5 \times 130$  мм с краевой поперечной трещиной (рис. 1). Первая партия изготавливалась без изменений, во второй и третьей партии образцов снимались поверхностные слои толщиной в 0,2 мм со стороны внутренней и наружной стенки трубы соответственно. Надрезы глубиной 5,75 мм наносили ножовочным полотном и заостряли бритвой. Кратковременные испытания на растяжение проводились при температурах минус 20 °С; -10 °С; 0 °С и комнатной (+23 °С) при скорости движения захватов универсальной разрывной машины UTS-20K 100 мм/мин до разрушения образцов.

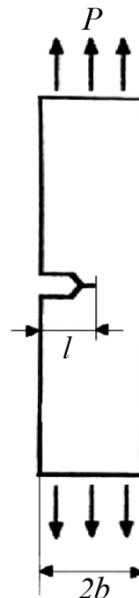


Рис. 1. Форма и размеры образцов с краевой трещиной для испытаний на трещиностойкость при осевом растяжении

При разрушении образцов из полимерного конструкционного материала обычно характерны на поверхности излома две зоны: зона вязкого разрушения и зона хрупкого разрушения. На рис. 2–5 приведены фотографии поверхностей изломов образцов после испытаний. Видно, что зона вязкого разрушения (белый полукруг у надреза) наблюдается у образцов, испытанных при температурах +23 °С, 0 °С, -10 °С. При температуре испытаний -20 °С наблюдается картина хрупкого разрушения.

Действительно, поверхности изломов на рис. 2–5 свидетельствуют о том, что независимо от того, какая надмолекулярная структура на поверхности испытанных образцов, пластическое разрушение происходит при температурах  $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что подтверждает минимальное значение температуры наружного воздуха при транспортировании. При значении температуры минус  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  все поверхности изломов показывают хрупкое разрушение, что также подтверждает, что при транспортировании труб из PPRC нельзя подвергать их даже небольшой деформации.

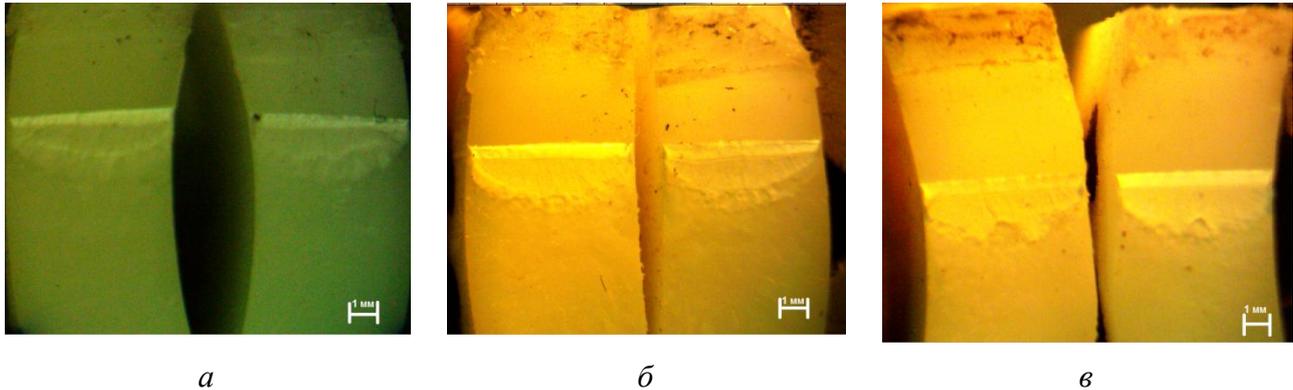


Рис. 2. Фотографии поверхностей изломов полипропиленовых труб, температура испытаний  $T = +23\text{ }^{\circ}\text{C}$ : *a* – исходный ПП; *б* – без внутреннего слоя; *в* – без наружного слоя

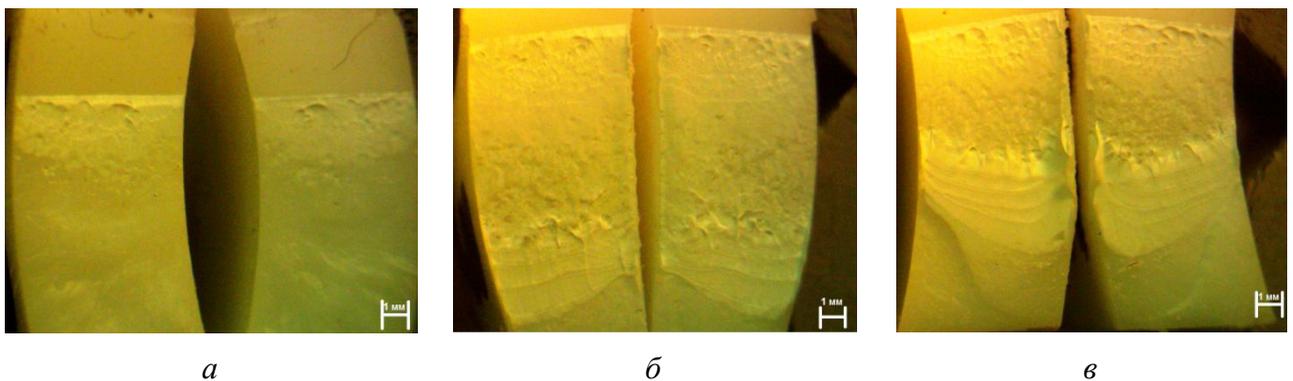


Рис. 3. Фотографии поверхностей изломов полипропиленовых труб, температура испытаний  $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ : *a* – исходный ПП; *б* – без внутреннего слоя; *в* – без наружного слоя

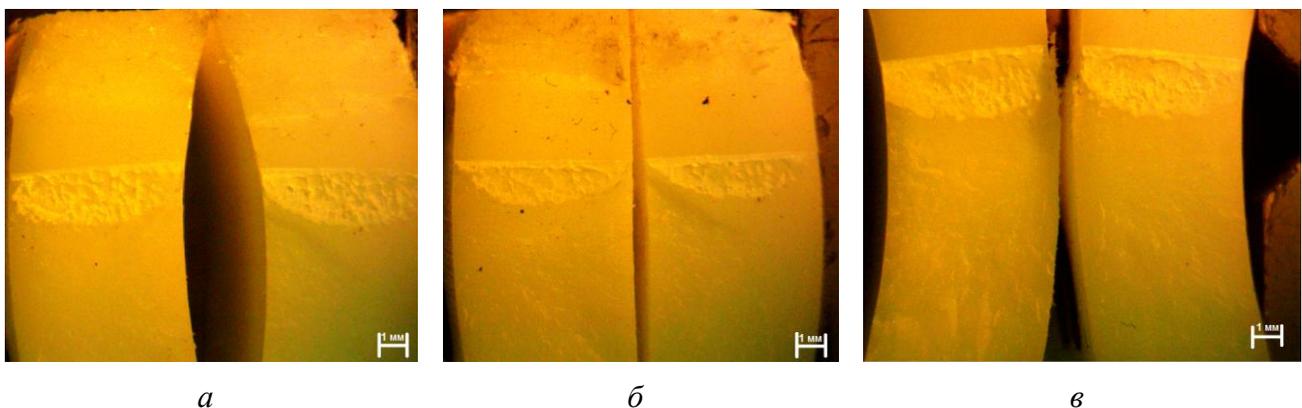


Рис. 4. Фотографии поверхностей изломов полипропиленовых труб, температура испытаний  $T = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ : *a* – исходный ПП; *б* – без внутреннего слоя; *в* – без наружного слоя

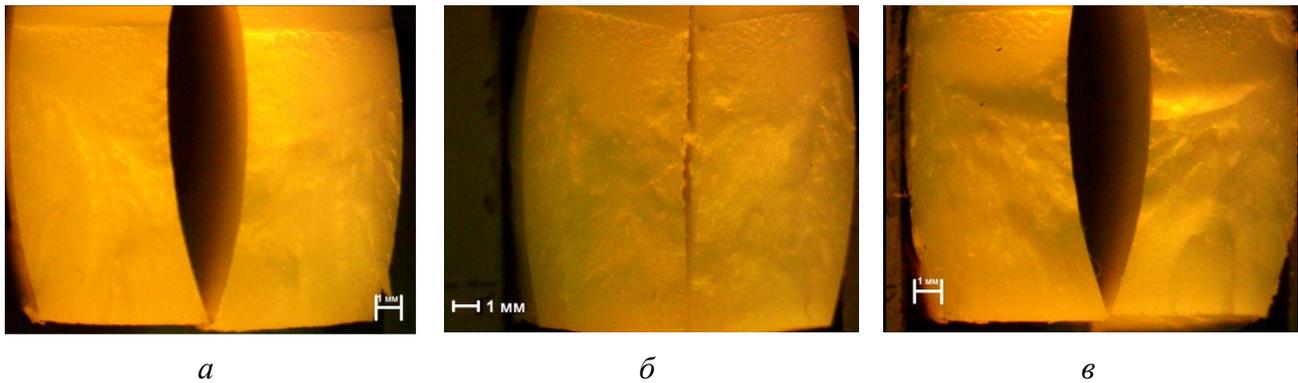


Рис. 5. Фотографии поверхностей изломов полипропиленовых труб, температура испытаний  $T = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ : *a* – исходный ПП; *б* – без внутреннего слоя; *в* – без наружного слоя

Вычисления предела трещиностойкости при осевом растяжении  $I_C$  проводили по соотношению:

$$I_C = \sigma \sqrt{\pi l} \cdot \xi(l/b), \quad (1)$$

где  $\sigma$  – разрушающее напряжение образца с надрезом;  $l$  – длина (глубина) надреза;  $b$  – полуширина образца;  $\xi(l/b)$  – табулированная функция [7].

На рис. 6 приведены значения предела трещиностойкости исходных образцов и образцов со снятыми поверхностными слоями, сформированными при производстве PPRC трубы при различных предельных температурах, регламентированных действующими нормативными документами при транспортировании. Характерной особенностью значения предела трещиностойкости является то, что при температурах  $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  снятие внешнего слоя трубы приводит тоже к незначительному, но понижению предела трещиностойкости по сравнению с исходными образцами без снятого внутреннего или наружного слоя.

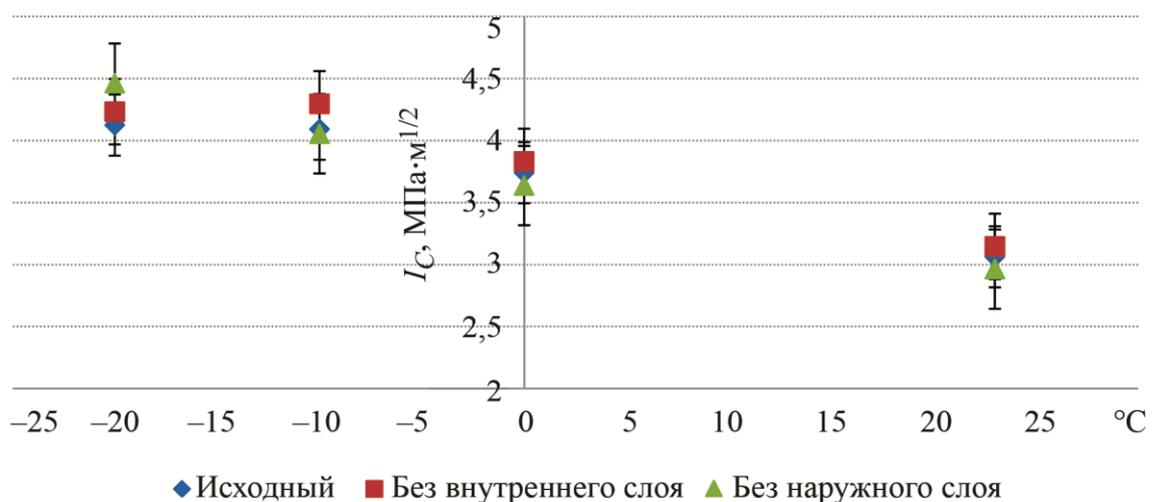


Рис. 6. Влияние поверхностного слоя на предел трещиностойкости при различных температурах

Нарушение этой закономерности происходит при хрупком разрушении при температуре  $-20$  °С. Видимо, здесь роль начинает играть уже не кристаллическая составляющая, а аморфная часть полипропилена. С понижением температуры испытаний величина предела трещиностойкости возрастает, что объясняется ростом прочности при растяжении  $\sigma_{рм}$  при охлаждении полипропилена или полимерного композиционного материала при прочих равных параметрах испытанных образцов (рис. 7).

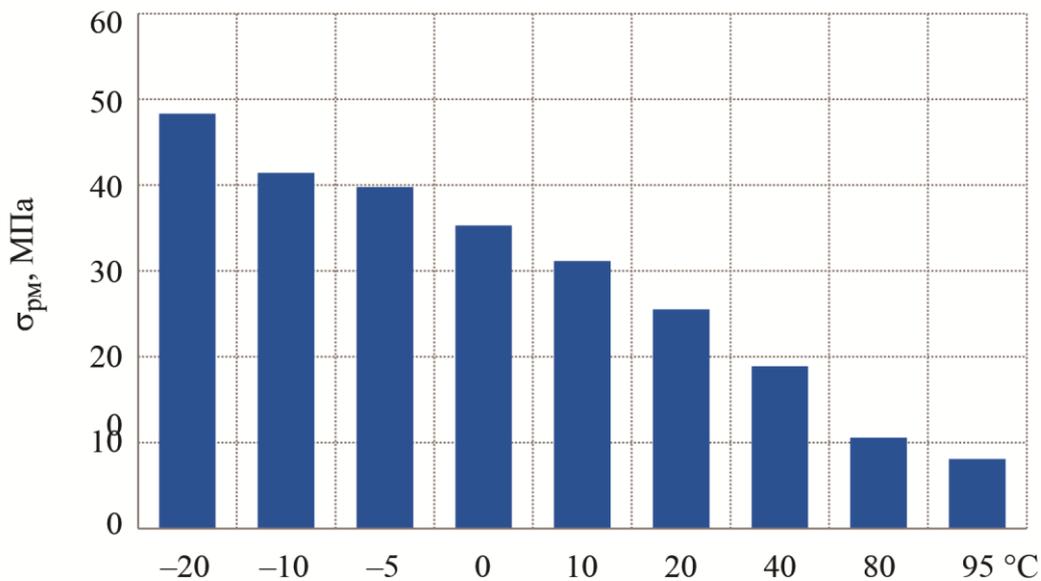


Рис. 7. Прочность при растяжении ПП труб при различных температурах испытаний

### 3. Заключение

Установлено, что удаление внутренней поверхности полипропиленовой трубы приводит при температурах до  $-10$  °С приводит к незначительному повышению предела трещиностойкости и, напротив, снятие поверхностного слоя наружной стенки трубы приводит к уменьшению трещиностойкости. Крупносферолитная структура негативно влияет на прочностные характеристики полипропилена.

### Литература

1. Состояние и перспективы развития пластмассовых трубопроводов в России / А. В. Алексеев, О. В. Глухова, А. Р. Исламов, С. М. Сергеев, А. Б. Минкевич // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2004. – № 2. – С. 1–4. – URL: [http://ogbus.ru/authors/Alekseev/Alekseev\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Alekseev/Alekseev_1.pdf)
2. Уиллоуби Д. А., Вудсон Р. Д., Суверлэнд Р. Полимерные трубы и трубопроводы : справочник / пер. с англ. и науч. ред. В. В. Ковриги. – СПб. : Профессия, 2010. – 485 с.
3. СП 40-101-96. Проектирование и монтаж трубопроводов из полипропилена «Рандом сополимер» (принят и рекомендован Письмом Главтехнормирования Минстроя РФ от 09.04.1996 N 13/214). – М. : Минстрой России ГУП ЦПП, 1997. – 33 с.
4. Кайгородов Г. К., Каргин В. Ю. Влияние скорости охлаждения полиэтиленового сварного шва на его прочность // Трубопроводы и Экология. – 2001. – № 2. – С. 13–14.
5. Ramsaroop A., Kanny K., Mohan T. P. Fracture Toughness Studies of Polypropylene-Clay Nanocomposites and Glass Fibre Reinforced Polypropylene Composites // Materials Sciences and Applications. – 2010. – Vol. 1. – P. 301–309. – DOI: 10.4236/msa.2010.

6. Родионов А. К., Бабенко Ф. И. Оценка трещиностойкости сварных стыковых соединений газопроводов, изготовленных из полиэтиленовых труб ПЭ80 // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – С. 435–446. – URL: <http://ogbus.ru/article/ocenka-treshhinostojkosti-svarnyx-stykovyx-soedinenij-gazoprovodov-izgotovlennyx-iz-polietilenovyx-trub-pe-80-2>
7. Черепанов Г. П. Механика разрушения композиционных материалов. – М. : Наука, 1983. – 296 с.