

4. Francis Thibault. Polymer Engineering and Science (Impact Factor: 1.52). – 03/2007. – 47(3). – 87 pp.
5. Luo, Y.M., Chevalier, L., Utheza, F. Proceedings of the ASME 2012 11th Biennial Conference On Engineering Systems Design And Analysis, Nantes, France, 2–4 July, 2012.
6. Бахвалов Н. С. Численные методы: учеб. пос. для студ. / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М. : Лаборатория знаний, 2003. – 632 с
7. <https://www.simscale.com/>

Надійшла до редакції 23.08.2016

*Poghorilyj O. V., Sidorov D. E., Kolosov O. Je., Kazak I. O.*

#### ZONED ANALYSIS TEMPERATURE WHEN HEATING OF PET-PREFORMS

*The analysis of the temperature conditions at the time of molding of articles PET-preforms in three characteristic zones, taking into account convection heating. The temperature distribution along the length of PET preforms calculated using the interpolation method piecewise cubic polynomials. The change in time of the temperature in each zone of PET-preforms was investigated. It is shown that temperatures vary over time exponentially, and the heating occurs in all areas of the PET-preform uniformly to the critical temperature. Shows the variation of temperature for the three layers: the outer surface, of the core layer and the inner surface of the PET-preforms*

**Keywords:** PET-preform, convection, temperature regimes, molding, economic function.

#### References

1. Sidorov, D., Kolosov, O., Poghorilyj, O., Gurieva, A. (11–12 June, 2015). Analysis of temperature regimes of formation of pet products. All-Ukrainian scientific-practical conference Effective processes and equipment of chemical production and packaging technology. Proc. Theses extra. Kiev, P. 82–83.
2. Ling-Ying Pan, Mao-Sheng Zhan, Kai Wang. (1996). Journal: Polymer Engineering and Science – POLYM ENG SCI. No. 36. 138 pp.
3. Yun Mei Luo, Luc Chevalier, Françoise Utheza and Xavier Nicolas (May 2014). Simplified Modelling of the Infrared Heating Involving the Air Convection Effect before the Injection Stretch Blowing Moulding of PET Preform Material Forming ESAFORM 2014, Espoo, Finland. Jari Larkiola, 611–612, pp. 844–851, Key Engineering Materials. <10.4028/www.scientific.net/KEM.611-612.844>. <hal-01077292>
4. Francis Thibault (03/2007). Polymer Engineering and Science (Impact Factor: 1.52). 47(3). 87 pp.
5. Luo, Y.M., Chevalier, L., Utheza, F. (2–4 July, 2012). Proceedings of the ASME 2012 11th Biennial Conference On Engineering Systems Design And Analysis, Nantes, France.
6. Bakhvalov, N.S., Zhidkov, N.P., Kobeljko, Gh.M. (2003). Numerical methods: studies. pos. for students. Moscow. Knowledge Laboratory. 632 p.
7. [https://www.simscale.com](https://www.simscale.com/)

УДК 678.025.2

**СІДОРОВ Д. Е., к.т.н., доц.; КОЛОСОВ О. Є., д.т.н., проф.; ГУР'ЄВА А. О.**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### ОЦІНЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕТ-ВИРОБІВ У ПРОЦЕСІ ФОРМУВАННЯ

*Запропоновано методику оперативного оцінювання геометричних параметрів ПЕТ-виробу у процесі його формування з ПЕТ-преформи. Виконано аналіз процесу виготовлення ПЕТ-пляшок ємністю 1 л і 0,5 л. Складені залежності для визначення ступеня витягування та товщини стінки на всіх фазах і етапах виготовлення ПЕТ-пляшки.*

**Ключові слова:** преформа, ПЕТ-вироби, ступінь витягування, формування

© Сідоров Д. Е., Колосов О. Є., Гур'єва А. О., 2017.

**Постановка проблеми.** У звичайній високошвидкісній ротаційній машині для виробництва пляшок з поліетилентерефталату (ПЕТ) розігріті в камері нагріву ПЕТ-преформи протягом певного часу залишаються

для вирівнювання температури, а потім подаються у відкриті форми для формування пляшок. Як тільки форма закривається, ПЕТ-преформа механічно витягується за допомогою дорна. Далі виконується технологічна фаза видування, що проходить при високому внутрішньому тиску, в ході якої пляшка набуває остаточного вигляду. Дорн виймається, пляшка охолоджується, після чого форма відкривається і готову пляшку вивантажують на транспортер або у бункер-накопичувач. Таким чином, інтерес представляє оперативна оцінка параметрів ПЕТ-виробу на всіх етапах процесу його формування з ПЕТ-преформи.

**Аналіз останніх досліджень.** Технологічна фаза нагрівання з використанням інфрачервоних нагрівачів описана у роботі [1]. Використання методу роздуву для отримання полімерної гофри з поліолефінів та основи моделювання процесу роздуву викладено у роботах [2, 3]. В цих роботах застосовано методи численного інтегрування диференціальних рівнянь, які вимагають виконання ресурсоємних комп'ютеризованих розрахунків. Крім того, фази та етапи формування ПЕТ-виробів суттєво відрізняються від етапів екструзійного формування гофрованих трубних виробів з поліолефінів.

**Метою даної роботи** є розробка методики оперативного оцінювання геометричних параметрів ПЕТ-виробу при його формуванні з ПЕТ-преформи.

**Виклад основного матеріалу.** Користуючись підходом, якій запропонований у роботі [3], складемо рівняння, що відображають збереження об'ємів матеріалу ПЕТ-преформи і ПЕТ-виробу на всіх етапах процесу формування.

ПЕТ-преформа має форму полого циліндру із сферичним донцем. Розігріта ПЕТ-преформа на першій фазі формування витягується дорном. При цьому, товщина стінки зменшується пропорційно подовженню заготовки. Об'єм ПЕТ-преформи до початку процесу витягування визначається наступним чином:

$$V_0 = R_0 l_0 \delta_0 + 2\pi R_0^2 \delta_0, \quad (1)$$

де  $R_0$  – серединний радіус стінки ПЕТ-преформи до деформування;  $l_0$  – початкова довжина циліндричної частини ПЕТ-преформи;  $\delta_0$  – початкова товщина стінки ПЕТ-преформи.

Об'єм ПЕТ-заготовки після першої фази формування – витягування дорном становить:

$$V_1 = R_0 l_1 \delta_1 + 2\pi R_0^2 \delta_1, \quad (2)$$

де  $l_1 = l_0 + \Delta l_1$ ;  $\Delta l_1$  – подовження ПЕТ-заготовки після першої фази формування, яка відповідає переміщенню дорна;  $\delta_1$  – товщина стінки ПЕТ-заготовки після першої фази формування.

Виходячи з рівнянь (1) і (2), товщина ПЕТ-заготовки після першої фази формування буде визначатися наступним рівнянням:

$$\delta_1 = \delta_0 \frac{l_0 + 2\pi R_0}{l_1 + 2\pi R_0}. \quad (3)$$

Ступень витягування після першої фази формування:

$$\lambda_1 = \frac{\delta_0}{\delta_1}, \quad (4)$$

може бути записана через вихідні параметри наступним чином:

$$\lambda_1 = 1 + \frac{\Delta l_1}{l_0 + 2\pi R_0}. \quad (5)$$

Друга фаза – фаза роздуву ПЕТ-заготовки. На цій фазі деформування ПЕТ-заготовки відбувається одночасно у всіх напрямках. Але, умовно його можливо поділити на два етапи: подовжнє – осьове деформування і поперечне – радіальне деформування.

Крім того, оскільки форма ПЕТ-виробу може бути складної, то цій процес слід розглядати для кожної характерної ділянки формоутворення кінцевого ПЕТ-виробу.

Зміна довжини ПЕТ-заготовки на другій фазі формування відповідає за фізичною сутністю зміні довжини на першій фазі формування. Таким чином, рівняння (3) – (5) для цього випадку можуть бути записані у наступному вигляді:

$$\delta_2 = \delta_1 \frac{l_1 + 2\pi R_0}{l_2 + 2\pi R_0}, \quad (6)$$

$$\lambda_2 = \frac{\delta_1}{\delta_2}, \quad (7)$$

$$\lambda_2 = 1 + \frac{\Delta l_2}{l_0 + \Delta l_1 + 2\pi R_0}, \quad (8)$$

де  $l_2 = l_1 + \Delta l_2$ ;  $\Delta l_2$  – подовження ділянки ПЕТ-заготовки після другої фази формування;  $\delta_2$  – товщина стінки ділянки ПЕТ-заготовки після першого етапу другої фази формування.

Для другого етапу другої фази формування ПЕТ-заготовки врахуємо радіальну складову деформування. Рівняння (2) для цього випадку прийме наступний вигляд:

$$V_3 = R l_2 \delta_3 + 2\pi R^2 \delta_3 \quad (9)$$

де  $R = R_0 + \Delta R$ ;  $\Delta R$  – зміна радіусу ділянки ПЕТ-заготовки після другої фази формування;  $\delta_3$  – товщина стінки ділянки ПЕТ-заготовки після другої фази формування, яка відповідає товщині кінцевого ПЕТ-виробу.

Рівняння, аналогічні (6), (7), (8), для ступеню витягування  $\lambda_3$  та товщини стінки  $\delta_3$  ділянки ПЕТ-виробу в цьому випадку приводять до наступних виразів:

$$\delta_3 = \delta_2 \frac{R_0}{R} \frac{l_2 + 2\pi R_0}{l_2 + 2\pi R}, \quad (9)$$

$$\lambda_3 = \frac{\delta_2}{\delta_3}, \quad (10)$$

$$\lambda_3 = \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0}\right) \left(1 + \frac{2\pi \Delta R}{l_2 + 2\pi R_0}\right). \quad (11)$$

Залежності (9), (10), (11) характеризують зміну товщини ділянки ПЕТ-заготовки тільки на умовному етапі її радіального деформування.

Загальна ступень витягування  $\lambda$  та товщина стінки  $\delta$  ділянки ПЕТ-виробу після формування будуть визначатися за наступними залежностями:

$$\delta = \delta_0 \frac{R_0}{R_0 + \Delta R} \frac{l_0 + 2\pi R_0}{l_0 + \Delta l_1 + \Delta l_2 + 2\pi(R_0 + \Delta R)}, \quad (12)$$

$$\lambda = \frac{\delta_0}{\delta}, \quad (13)$$

$$\lambda = \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0}\right) \left(1 + \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2 + 2\pi \Delta R}{l_0 + 2\pi R_0}\right). \quad (14)$$



Рис. 1 – ПЕТ-преформа та пляшка 0,5 л

Порівняння розрахункових і експериментальних даних виконаємо на прикладі формування пляшок ємністю 0,5 і 1 л з ПЕТ-преформ, загальною масою 20,71 г (рис. 1) та 32,23 г відповідно. Саме циліндрична частина, яка є основною частиною виробу, має найменшу, критичну товщину стінки. Для виконання розрахунків прийняті дані, що були отримані вимірюванням геометричних розмірів у циліндричній зоні преформи і виробу за допомогою цифрового вимірювального пристрою Sigma digital caliper, який забезпечував вимірювання з роздільною здатністю до другого знаку після коми, з точністю  $\pm 0,02$  мм, похибка вимірювань складала біля 1 %.

Вимірювання виконувалися на відібраних характерних зразках без будь-яких дефектів.

Було відібрано по 10 ПЕТ-виробів, та виконано по 4 серії вимірювань в різних точках перетину. За експериментальні результати прийняті середні по 40-а точкам вимірювання значення. Значення середнього радіусу отримано наступним перерахунком:

$$R_0 = \frac{D_0 - \delta_0}{2}; \quad R = \frac{D - \delta}{2}; \quad (15)$$

де  $D_0, D$  – зовнішні діаметри ПЕТ-преформи і кінцевого виробу, відповідно.

Для ПЕТ-преформи 32,23 г (пляшка 1 л) отримані дані:  $D_0 = 26,35$  мм;  $\delta_0 = 2,76$  мм;  $R_0 = 11,795$  мм;  $l_0 = 74,66$  мм;  $D = 81,16$  мм;  $\delta = 0,29$  мм;  $R = 40,435$  мм;  $l = 158,31$  мм;  $\Delta l_1 = 45$  мм;  $\Delta l_2 = 38,65$  мм;  $\Delta R = 27,99$  мм.

Для ПЕТ-преформи 20,71 г (пляшка 0,5 л) отримані дані:  $D_0 = 22,39$  мм;  $\delta_0 = 3,03$  мм;  $R_0 = 9,68$  мм;  $l_0 = 37,89$  мм;  $D = 64,96$  мм;  $\delta = 0,24$  мм;  $R = 32,36$  мм;  $l = 124,09$  мм;  $\Delta l_1 = 45$  мм;  $\Delta l_2 = 41,2$  мм;  $\Delta R = 22,68$  мм.

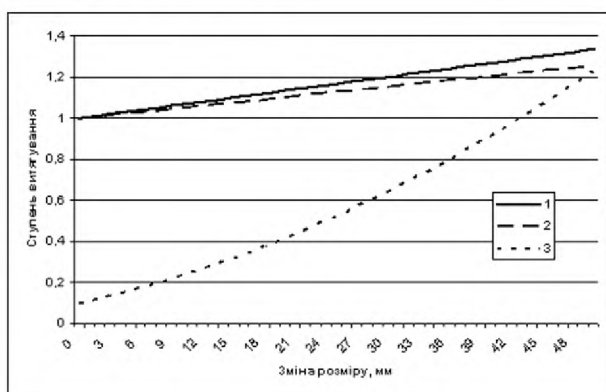
Розраховані та експериментальні значення порівнюються в табл. 1. Наведені в результаті відносяться до середньої ділянки ПЕТ-виробу.

Таблиця 1

№	Показник	Експеримент		Розрахунок		Похибка, %	
		32,23 г (1 л)	32,23 г (0,5 л)	32,23 г (1 л)	32,23 г (0,5 л)	32,23 г (1 л)	32,23 г (0,5 л)
1	преформа (пляшка)	32,23 г (1 л)	32,23 г (0,5 л)	32,23 г (1 л)	32,23 г (0,5 л)	32,23 г (1 л)	32,23 г (0,5 л)
2	$\delta$ , мм	0,29	0,24	0,297	0,268	2,41	11,7
3	$\lambda_1$	-	-	1,3	1,5	-	-
4	$\lambda_2$	-	-	1,2	1,23	-	-
5	$\lambda_3$	-	-	5,92	6,1	-	-
6	$A$	9,52	12,63	9,29	11,3	2,42	10,5

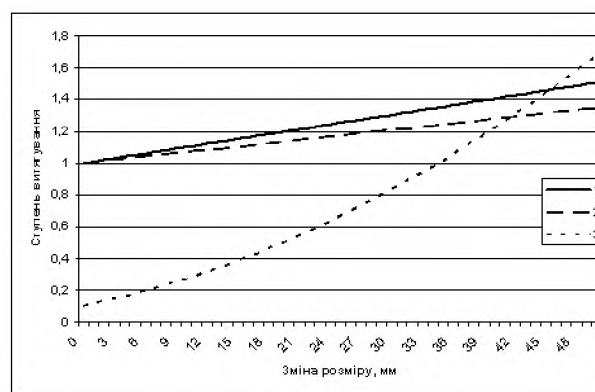
Як видно з даних табл. 1, максимальна похибка розрахунків відносно експерименту складає 11,7 % і є допустимою. Цікаво, що для ПЕТ-виробу малого типорозміру отримані похибки значно більші, ніж для ПЕТ-виробу більшого типорозміру. Таким чином, слід очікувати, що для ПЕТ-пляшок ємністю більше за 1 л, похибки розрахунків будуть досить малі.

Виконаємо аналіз етапів процесу формування ПЕТ-виробу. На рис. 2 та 3 наведено графіки залежності ступеня витягування від зміни розмірів ПЕТ-заготівки на всіх етапа процесу формування пляшок ємністю 1 л та 0,5 л, відповідно. Для наочності діаграм, графіки залежності ступеню деформування від зміни радіусу ПЕТ-заготівки масштабовані 1:10. Рис. 2 і рис.3 дають уяву про вклад кожного фактору процесу деформування ПЕТ-заготівки. Можна відмітити, що осьове деформування ПЕТ-заготівки у реальних технологічних режимах не суттєво впливає на ступень деформування. Так, для пляшки ємністю 1 л при реалізованих у технологічному процесі параметрах  $\Delta l_1 = 45$  мм,  $\Delta l_2 = 38,65$  мм, ступень витягування складає  $\lambda_1 = 1,32$  і  $\lambda_2 = 1,76$ , відповідно. Аналогічно, для пляшки ємністю 0,5 л при  $\Delta l_1 = 45$  мм,  $\Delta l_2 = 41,2$  мм отримано ступень витягування  $\lambda_1 = 1,46$  і  $\lambda_2 = 1,27$ , відповідно. Таки величини ступеня витягування не можна вважати значними. Проте, радіальна складова деформування  $\Delta R$ , яка складала для пляшки ємністю 1 л – 27,99 мм, а для пляшки 0,5 л – 22,68 мм, вносить дуже суттєвий вклад: ступень витягування в цьому випадку становить 5,92 і 6,05, відповідно. Таким чином, радіальна складова деформування у процесі формування ПЕТ-виробу у 4 – 5 разів більш суттєва ніж осьова



1 – перша фаза – витягування дорном; 2 – друга фаза – осьова складова деформування; 3 – друга фаза – радіальна складова деформування (масштабоване 1:10).

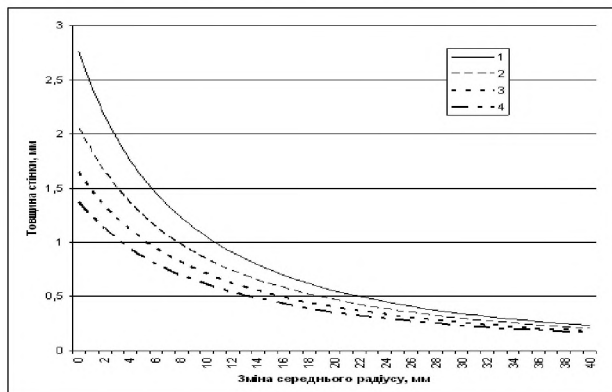
Рис. 2 – Залежність ступеня витягування від зміни розмірів ПЕТ-заготівки для пляшки ємністю 1 л



1 – перша фаза – витягування дорном; 2 – друга фаза – осьова складова деформування; 3 – друга фаза – радіальна складова деформування (масштабоване 1:10).

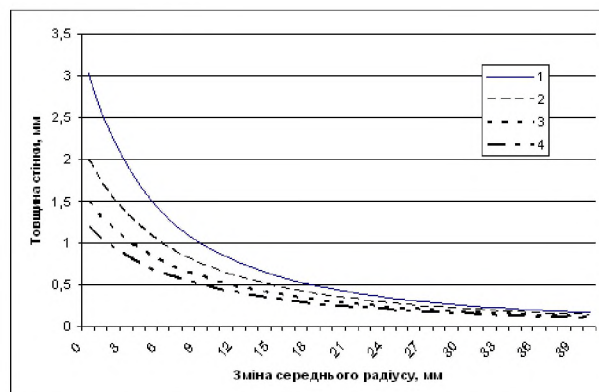
Рис. 3 – Залежність ступеня витягування від зміни розмірів ПЕТ-заготівки для пляшки ємністю 0,5 л

Оскільки встановлено, що вплив радіальної складової деформування ПЕТ-заготовки є вирішальним, то проаналізуємо її вплив на товщину отриманого ПЕТ-виробу. На рис. 4 і рис. 5 наведено графічні залежності товщини стінки ПЕТ-пляшки 1 л і 0,5 л відповідно, від зміни середнього радіусу ПЕТ-виробу у процесі формування. Деформування в осьовому напрямі  $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2$  вважається здійсненим. На графіках це безпосередньо відображається на початкових значеннях товщини стінки ПЕТ-виробу.



1 –  $\Delta l = 0$  мм; 2 –  $\Delta l = 50$  мм; 3 –  $\Delta l = 100$  мм;  
4 –  $\Delta l = 150$  мм.

Рис. 4 – Залежність товщини стінки ПЕТ-пляшки ємністю 1 л від зміни середнього радіусу



1 –  $\Delta l = 0$  мм; 2 –  $\Delta l = 50$  мм; 3 –  $\Delta l = 100$  мм;  
4 –  $\Delta l = 150$  мм.

Рис. 5 – Залежність товщини стінки ПЕТ-пляшки ємністю 0,5 л від зміни середнього радіусу

Зона мінімальної товщини ПЕТ-виробу розташована у центральній циліндричній частині ПЕТ-пляшки. Для достатніх механічних властивостей ПЕТ-пляшки, вона повинна мати мінімальну товщину стінки не менш ніж 0,2 мм. Як видно з наведених графіків, така товщина стінки досягається при значеннях  $\Delta R$ , що дорівнюють приблизно 40 мм. Технологічно, такі значення  $\Delta R$  не досягаються.

На графіках рис. 4 і рис. 5, найбільш цікавою з точки зору реалізації технологічного процесу є зона між кривими 2 ( $\Delta l = 50$  мм) і 3 ( $\Delta l = 100$  мм). Саме в таких режимах формуються пляшки найбільш використовуваних типорозмірів від 0,5 л до 2 л. Як видно з графіків, в цьому діапазоні типорозмірів слід очікувати зменшення товщини стінки ПЕТ-заготовки за рахунок радіальної складової деформування від приблизно 1,5–2 мм до приблизно 0,25–0,3 мм. Лише біля 15 % зменшення товщини стінки буде здійснено за рахунок сумарного осьового деформування  $\Delta l$ . Товщина стінки ПЕТ-виробу стрімко зменшується при збільшенні  $\Delta R$ .

Якщо початкова товщина стінки ПЕТ-преформи для виготовлення ємності 1 л на 10 % менше за товщину ПЕТ-преформи для виготовлення ємності 0,5 л, то при наведених вище параметрах ПЕТ-преформ, за умовно прийнятих по графікам  $\Delta l = 100$  мм і  $\Delta R = 25$  мм, кінцева товщина стінки ПЕТ-пляшок ємністю 1 л буде на 14 % більше ніж товщина стінки ПЕТ-пляшок ємністю 0,5 л.

Таким чином, наведені дані можуть бути використані як для аналізу існуючих технологічних процесів виготовлення ПЕТ-виробів, так і для проєктування нових.

**Висновки.** Розроблено методику оперативного оцінювання геометричних параметрів ПЕТ-виробу у процесі його формування з ПЕТ-преформи. Методика апробована на прикладі виготовлення ПЕТ-пляшок ємністю 1 л і 0,5 л. Надані залежності для визначення ступеня витягування та товщини стінки на всіх фазах і етапах виготовлення ПЕТ-пляшки. Методика може бути використана як для аналізу існуючих технологічних процесів, так і для розробки нових виробів і технологій до них

#### Список використаної літератури

1. Сідоров Д. Е. Аналіз температурних режимів формування ПЕТ-виробів / Д. Е. Сідоров, О. Є. Колосов, О. В. Погорілий, А. О. Гур'єва. // Збірник доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки». – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 82–83.
2. Сахаров А. С. Исследование процесса формирования профиля гофры при производстве гофрированных трубных изделий. / Д. Э. Сидоров, В. И. Сивецкий, А. Е. Колосов, А. С. Сахаров // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2012. – № 6. – С. 39–43.

- Сахаров А. С. Аспекты формования профилей гофрированных трубных изделий. Часть 1. Моделирование параметров гофр разного профиля, а также формирующего их оборудования / Д. Э. Сидоров, В. И. Сивецкий, А. Е. Колосов, А. С. Сахаров // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 44–48.

Надійшла до редакції 26.10.2016

Sidorov D. E., Kolosov A. E., Gurieva A. A.

#### ASSESSMENT OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF PET PRODUCTS IN THE PROCESS OF FORMATION

*In a rotating machine for the production of bottles from polyethylene terephthalate (PET) heating chamber heated PET preforms remain for some time to equalize temperature and then fed into molds to form bottles. PET preform mechanically extracted using Dorn. Further implemented technological blowing phase, during which the bottle becomes final appearance.*

*The aim of this work is to develop methods of rapid assessment of geometric parameters pet product during its formation PET preforms.*

*The paper presents equations apply, reflecting preservation quantities of PET preforms and PET products at all stages of formation. Thus obtained depending on wall thickness and degree of stretching of the material in PET product. PET preform reheat in the first phase of the formation pulled Dorn. The second phase – the phase of blew PET timber. In this phase PET timber deformation takes place simultaneously in all directions. But it may conditionally divided into two stages: longitudinal - axial and transverse deformation - radial deformation. In addition, as a form of pet products can be complicated, the process that should be considered for each characteristic areas forming the final PET product. For the second stage of the second phase of forming PET blanks counted radial component deformation.*

*Comparison of the calculated and experimental data, perform the example of forming bottles 0.5 and 1 liter PET preforms, a total weight of 20.71 grams and 32.23 grams, respectively. It cylindrical part, which is the main part of the product, the lowest, the critical wall thickness. Measurements were performed on selected samples characteristic without any defects. A sample of 10 pet products, and completed 4 series of measurements at various points of intersection. The experimental results accepted average for the 40th points of measurement values. The calculated and experimental values are compared. The maximum relative error calculation experiment is 11.7 % and is acceptable.*

*The analysis of the stages of the formation of pet products. Shows the graph of the degree of stretching resizing PET timber at all stages of formation bottle capacity 1 liter and 0.5 liters., Respectively. Determining the contribution of each factor deformation process PET preform. Axial PET timber deformation in real technological modes do not significantly affect the degree of deformation. The radial component deformation makes a very significant contribution. The degree of stretching in this case is up to 6.05. Thus, the radial component of deformation in the process of pet products in 4–5 times more significant than axial. These graphics depending on wall thickness PET bottles of 1 liter and 0.5 liters of changes in the average range of PET products in the process of formation.*

*If the initial wall thickness of PET Preforms for containers 1 liter of 10 % less than the thickness of PET preforms for the production capacity of 0.5 liters, then the standard settings of PET preforms, the conventionally accepted on schedule deformation parameters, the final wall thickness PET bottles 1 liter capacity is 14 % greater than the wall thickness of PET bottles 0.5 liters.*

**Keywords:** preform, PET products, degree of stretching, forming.

#### References

- Sidorov, D.E. (2015). “Analysis of temperature conditions of formation of PET products” [Analiz temperaturnykh rezhymiv formuvannya PET-vyrobiv]. Proceedings of All-Ukrainian scientific-practical conference *Effective processes and chemical production equipment and packaging equipment* NTU “KPI”, pp 82–83.
- Sakharov, A. (2012). “Investigation of the process of forming the corrugated profile in the production of corrugated pipe products” [Issledovanie processa formovaniya profilya gofry pri proizvodstve gofrirovannyh trubnyh izdelij]. *Chemical and Petroleum Engineering*. No. 6. P. 39–43.
- Sakharov, A. (2012). “Aspects of forming corrugated pipe sections”. [Aspects molding corrugated pipe product profile]. Part 1. Modeling corrugation parameters in different fields, as well as the form of their equipment. *Chemical and Petroleum Engineering*. No. 1, pp 44–48.