***References***

1. *Zyplakov O. G Tsiplakov O. G.* Nauchnie osnovi tekhnolohyy kompozytsyonno-voloknystikh materyalov [Scientific basis of the technology of composition-fibrous materials] / O. H. Tsiplakov – Perm, 1974. – 317 s.
2. *Shalun G. B.* Sloistye plastiki [Laminated plastics] / G. B. Shalun, E. M. Surzhenko. – L. : Himija, 1978. – 232 s.
3. http://www.ukrniitm.dp.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=51&lang=ru.
4. *Savyn Y.* Kompleksnaja modernyzacyja systemi avtomatyky propytochnoj mashyni LEST-1200 [Complex modernization of the automation system for impregnation machine LEST-1200] / Y. Savyn, Gh. Babakyn // Sovremennie tekhnologhy avtomatyzacyy. – 2010. – No 1. – S. 70-79.
5. http://russianengineering.narod.ru/projekt/intec-electroisolit-2012.htm.
6. http://vetc.viam.ru/index.php?id_page=3.
7. *Okorokov V. V.* Mezhdunarodnie vistavky «Kompozyt-Ekspo – 2010» i «Polyuretaneks – 2010» [International exhibition «Composite-Expo – 2010» and «Polyurethanex – 2010» / V. V. Okorokov // Polymernie materyali. – 2010. – No 4 – 5 (131 – 132). – S. 26–31.
8. http://c-a-m.narod.ru/oborudovanie/impregnation/Glass_Fabric_Vertical_Impregnation_Line_Rus.pdf.
9. *Kolosov O. Ye.* Formuvannia polimernykh kompozytsiinykh materialiv iz zastosuvanniam fizyko-khimichnoi modyfikatsii (u dvokh chastynakh). Chastyna 1. Doslidzhennia peredumov napravlenoho zdiisnennia fizyko-khimichnoi modyfikatsii. [Formation of polymer composite materials using physical and chemical modification (in two parts). Part 1. Investigation of prerequisites for directed implementation of physical and chemical modification] / O. Ye. Kolosov. – K. : NTUU KPI, 2005. – 251 s.
10. *Kolosov O. Ye.* Formuvannia polimernykh kompozytsiinykh materialiv iz zastosuvanniam fizyko-khimichnoi modyfikatsii (u dvokh chastynakh) [Formation of polymer composite materials using physical and chemical modification (in two parts). Part 2. Effective treatment and equipment for physical and chemical modification] / O. Ye. Kolosov, V. I. Sivetskyi. – K. : NTUU KPI, 2006. – 196 s.

УДК 628.027.3

**КОВАЛЕНКО К. Г., аспірант; СІВЕЦЬКИЙ В. І., к.т.н., проф.; СОКОЛЬСЬКИЙ О. Л., к.т.н., доц.**
**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

# ОСОБЛИВОСТІ ТЕЧІЇ В'ЯЗКОПРУЖНОЇ РІДИНИ В ДИСКОВОМУ ЗАЗОРІ ЕКСТРУДЕРА

*Досліджено течію в'язкоеластичної рідини у вісесиметричному каналі дискового екструдера. Розраховано технологічні параметри екструзії в'язкопружних рідин із високим числом Вайсенберга.*
***Ключові слова:*** *в'язкоеластична рідина, ефект Вайсенберга, екструдер, дисковий зазор*

© Коваленко К. Г., Сівецький В. І., Сокольський О. Л., 2013.

**Постановка задачі та аналіз попередніх досліджень.** В умовах експлуатації структурні характеристики симетричних полімерів часто можуть змінюватися. Як приклад можна навести їх взаємодію з вологою атмосфери та ультрафіолетовим випромінюванням.

Пластифікація, спричинена поглинанням води, є досить розповсюдженим явищем, але цей ефект все ж залежить від хімічної природи та морфології полімеру. Природа взаємодії полімеру з водою може бути різною. Обговорюючи питання стану сорбованої води в різних полімерних системах, слід ураховувати цю специфічну взаємодію [1].

Дослідження особливостей течії вязкопружної рідини в дисковому зазорі здійснено з використанням програмного комплексу ANSYS Academic Teaching POLYFLOW [3]. Він пропонує широкий спектр моделей для в'язких в'язкоеластичних і в'язкопружних рідин. Проблемою моделювання є добір функції нелінійної в'язкості, яка достовірно апроксимує віскозиметричні дані.

Для в'язкопружної течії, загальний тензор екстра-напружень $T$ розкладається на в'язкопружну і чисто в'язку компоненти: $T = T_1 + T_2$, де $T_1$ обчислюють для кожного типу в'язкопружної моделі, а $T_2 = 2\eta_2 D$, де $D$ – швидкість зміни тензора деформації, $\eta_2$ – коефіцієнт в'язкості для узагальненої ньютонівської (тобто, чисто в'язкої) компоненти тензора екстра-напруження. При цьому $\eta_1 = (1 - \eta_r)\eta$ , $\eta_2 = \eta_r\eta$.

Чисто в'язка компонента $T_2$ (якщо вона присутня), зазвичай, інтерпретується як складова в напруженні полімерних розчинів, або як реакція напружень, пов'язана з дуже швидким режимом релаксації. Коли використовують багаторежимну в'язкопружну модель, чисто в'язку компоненту тензора екстра-напружень визначають тільки через перший порядок; відповідна в'язкість буде визначатися з добутку $\eta_1\eta_r$.

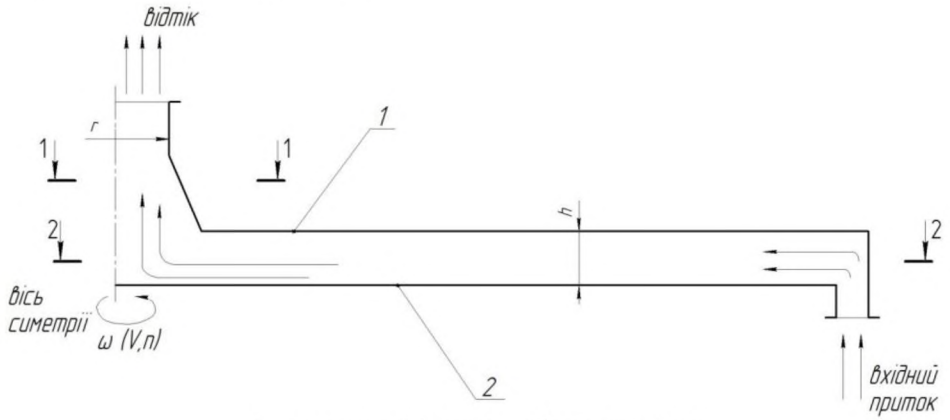
Для чисельного дослідження особливостей течії вязкопружної рідини в дисковому зазорі вибрано модель Фан-Тьен-Таннера (ФТТ). Вона є однією із найбільш реалістичних диференціальних в'язкопружних моделей [3]. У ній представлені псевдопластичні властивості матеріалу і неквадратичні рівняння нормального напруження на різних високих швидкостях зсуву.

Модель ФТТ дозволяє обчислювати в'язкопружну компоненту $T_1$ за залежністю:

$$\exp\left[\frac{\varepsilon\lambda}{\eta_1}(T_1)\right]T_1+\lambda\left[\left(1-\frac{\xi}{2}\right)\overset{\nabla}{T}_1+\frac{\xi}{2}\overset{\Delta}{T}_1\right]=2\eta_1 D\,,$$

де $\lambda$ – тривалість релаксації, визначається як час, необхідний для скорочення напруження зсуву приблизно до третини його початкового значення, коли швидкість деформації дорівнює нулю; $\xi$ і $\varepsilon$ – матеріальні константи, що контролюють зсувну в'язкість і поведінку подовження (ненульове значення $\varepsilon$ призводить до обмеження стійкості об'ємної в'язкості); $\overset{\nabla}{T}_1=\dfrac{DT_1}{Dt}-T_1\nabla v-\nabla v^T T_1-$ верхня конвективна похідна за часом в'язкопружного екстра-напруження; $\overset{\Delta}{T}_1=\dfrac{DT_1}{Dt}+T_1\nabla v^T+\nabla v T_1-$ нижня конвективна похідна по часу в'язкопружного екстра-напруження; $v$ – швидкість потоку полімеру. Властивості досліджуваної рідини: $\eta_1+\eta_2=1$; $\eta_2/(\eta_1+\eta_2)=1/9$; $\lambda=5$; $\xi=0{,}2$; $\varepsilon=0{,}015$.

Для вибраної розрахункової схеми (рис. 1) враховують такі межові умови: задано поверхні притоку і відтоку; об'ємна витрата рідини $Q$ = 3000 мм$^3$/с; швидкість обертання диска $\omega=2\pi$ рад/с; обмежувальні стінки є абсолютно жорсткими; в'язкопружна рідина налипає до обертового і нерухомого дисків; задача – ізотермічна; розрахункова схема – вісесиметрична.




*1 – нерухомий диск; 2 – обертовий диск*

**Рис. 1 – Розрахункова схема дискового зазора екструдера**

**Метою** досліджень є розрахунок розподілу швидкостей і тиску в дисковому зазорі й каналі модельного дискового екструдера (рис. 2).

**Виклад основного матеріалу**. Поставлену задачу вирішують ітераційним шляхом з покроковим збільшенням (еволюцією) тривалості релаксації $\lambda$ від 0 до заданого значення із досягненням збіжності розв'язку при кожному попередньому значенні.

Тривалість релаксації зростає лінійно з функцією еволюції $S$: $\lambda=5$, коли $S=1$ [4].

При обертальному русі рідини полімерні молекули орієнтуються вздовж напрямку течії, але вони прагнуть повернутися до вихідної статичної конфігурації, що призводить до виникнення кругових напружень, що зрушують шар рідини у напрямку до центру дискового зазору (ефект Вайсенберга). Результати моделювання демонструють наявність цього ефекту, внаслідок чого спостерігаються відмінні один від одного розподіли швидкості витікання полімеру за різної тривалості релаксації (рис. 3). Зі зростанням тривалості релаксації, що визначає пружні властивості полімеру, потік все більше стягується до осі.

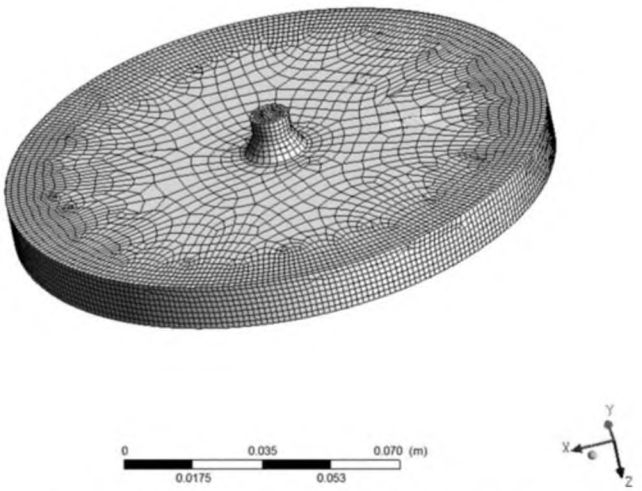
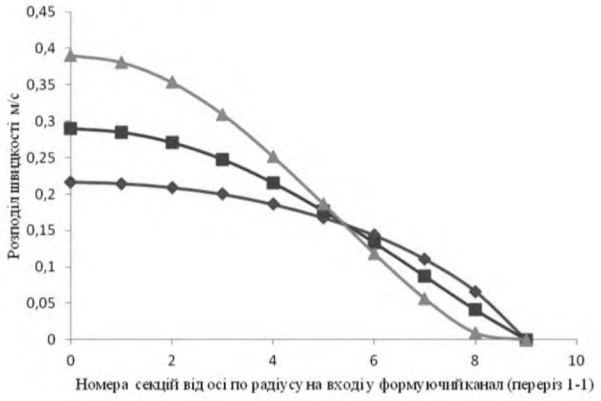


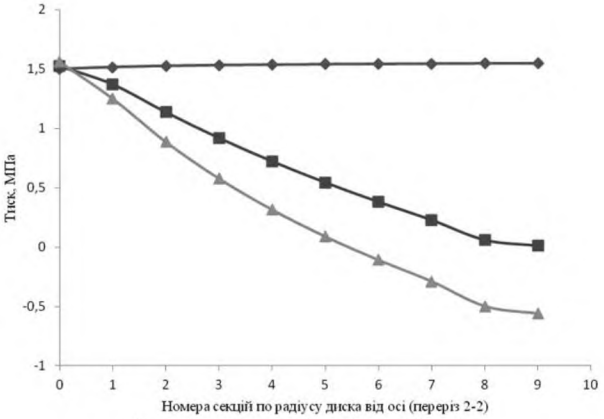

**Рис. 2 – Скінченноелементна 3D-модель каналу дискового зазора з центральним формувальним отвором**

За нульової тривалості релаксації, що відповідає чисто в'язкій моделі, тиск у дисковому зазорі є більшим, аніж коли $\lambda > 0$ (рис. 4). Це пояснюється тим, що для продавлювання матеріалу через дисковий зазор і центральний канал слід створити надлишок тиску на вході. Зі збільшенням тривалості релаксації зростає в'язкопружність полімеру, і сили, спричинені ефектом Вайсенберга, зумовлюють його нагнітання до центру диска. Завдяки цим силам, у полімері виникає градієнт тиску, спрямований протилежно градієнту тиску гідравлічного опору ділянки. Тому тиски в дисковому зазорі для в'язкопружного полімеру є меншими, аніж у разі чисто в'язкої течії полімеру (див. рис. 4). За певних умов сили, спричинені ефектом Вайсенберга, перевищать тиск від гідравлічного опору, і градієнт тиску виявиться спрямованим в інший бік. Тоді його величина виявиться достатньою для подолання гідравлічного опору формувального отвору, навіть без створення надлишкового тиску на вході. Тиску на перерізі дискового зазора може бути навіть від'ємним, тобто полімер "засмоктується" в дисковий зазор лише за рахунок розвитку нормальних напружень.




♦ – $\lambda = 0$; ■ – $\lambda = 3$; ▲ – $\lambda = 5$

**Рис. 3 – Розподіл швидкості витікання полімеру з центрального отвору**




▲ – $\lambda = 0$; ■ – $\lambda = 3$; ♦ – $\lambda = 5$

**Рис. 4 – Тиск у дисковому зазорі**

**Висновки.** Числові експерименти дозволяють якісно і кількісно оцінити ефект Вайсенберга, що виникає при в'язкопружній течії розплавів полімеру. Це дозволяє врахувати деформацію конфігурації екструдованих профілів, отримувати погонажні профільні вироби з більшою розмірною точністю.

**Список використаної літератури**

1. *Торнер Р. В.* Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р. В. Торнер. – М. : Химия, 1977. – 462 с.
2. *Хан Ч. Д.* Реология в процессах переработки полимеров / пер. с англ. ; под ред. Г. В. Виноградова и М. Л. Фридмана – М. : Химия, 1979. – 368 с.
3. ANSYS POLYFLOW 12.1 User's Guide / ANSYS, Inc., 2009. – 859 p.
4. *Микаэли В.* Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчеты / пер. с англ. ; под ред. В. П. Володина – СПб. : Профессия, 2007. – 470 с.

Надійшла до редакції 01.02.3013.

***Kovalenko K. G., Sivetskiy V. I., Sokolskiy O. L.***

VISCOELASTIC FLUID FLOW FEATURES IN THE DISK-SHAPED GAP EXTRUDER

Disk-shaped gap extruders have higher plasticizing and homogenizing power than screw extruders, but the forming pressure which they develop is lower. Therefore, they are mainly used as mixers or granulators for loading the preparation material into the screw extruder. The operation principle of disk-shaped extruder based on the use of emerging into a viscoelastic material the stress normal to the shear rate.
This article conducted numerous experiments which allow us to estimate qualitatively and quantitatively the Weissenberg effect that occurs when the flow of polymer melts is viscoelastic. The viscoelastic fluid flow in axisymmetrical channel disk-shaped extruder is research. Numerical experiments have allowed calculating the extrusion technological parameters of viscoelastic liquid at a high Weissenberg number more accurately.

***Keywords:*** *viscoelastic flow, Weissenberg effect, extruder, disk gap.*

***References***

1. *Torner R. V.* Teoreticheskie osnovy pererabotki polimerov (mehanika processov) [Theoretical fundamentals of polymers processing (mechanics processes)] / R. V. Torner. – M. : Himija, 1977. – 462 p.
2. *Han Ch. D.* Reologija v processah pererabotki polimerov [Processing rheology in the polymers process]. – M. : Himija, 1979. – 368 p.
3. ANSYS POLYFLOW 12.1 User's Guide / ANSYS, Inc., 2009. – 859 p.
4. *Mikajeli V.* Jekstruzionnye golovki dlja plastmass i reziny: Konstrukcii i tehnicheskie raschety [Extrusion dies for plastics and rubber: Design and engineering calculations]. – Sankt-Peterburg : Professija, 2007. – 470 p.

УДК 676.056.42

**МАРЧЕВСЬКИЙ В. М., к.т.н., проф.; ВОРОНІН Л. Г., к.т.н., доц.; МЕЛЬНИК О. П., ас.;**
**МАКАРЕНКО А. А., магістрант; БИКОВЕЦЬ Д. П. магістрант**
**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

# КІНЕТИКА НАГРІВАННЯ ВАЛА ДЛЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПРЕСУВАННЯ ПАПЕРОВОГО ПОЛОТНА

*Розроблено математичну модель гарячого вала для високотемпературного пресування паперового полотна. Проаналізовано процес пресування на звичайних пресах і запропоновано шляхи його інтенсифікації. Отримані попередні дані для розрахунку промислового зразка гарячого вала.*
***Ключові слова:*** *гарячий вал, високотемпературне пресування,паперове полотно.*

© Марчевський В. М., Воронін Л. Г., Мельник О. П., Макаренко А. А., Биковець Д. П., 2013.

**Постановка проблеми.** Основним елементом пресу для високотемпературного пресування паперового полотна є гарячий вал, використання якого дозволяє значно підвищити сухість паперового полотна, що дає значну економію витрат газу на отримання пари для сушильної частини папероробної машини. Тому дослідження високотемпературного пресування та розроблення ефективних гарячих пресів, що спроможні суттєво збільшити сухість паперового полотна термомеханічним способом є актуальною проблемою.

**Метою статті** є дослідження кінетики нагрівання вала з отриманням параметрів, необхідних для розрахунку промислового зразка гарячого вала.

**Виклад основного матеріалу**. Для вирішення поставленої проблеми створено нову конструкцію гарячого вала (рис. 1), що дозволяє зменшити втрати в навколишнє середовище при нагріванні внутрішнім джерелом теплоти. Як внутрішні нагрівники використано карборундові стрижні, закріплені нерухомо всередині вала, корпус якого обертається навколо них. Стрижні, нагріті до певної температури, створюють сталий тепловий потік на внутрішню поверхню вала, який можна регулювати та контролювати. Від внутрішньої поверхні вала теплота передається теплопровідністю до зовнішньої поверхні. Перевагою карборундових стрижнів є вища надійність порівняно з іншими електричними нагрівниками.