

12. Кафаров, В. В. Основы массопередачи [Текст] / В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1962. – 655 с.
13. Франк–Каменецкий, Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике [Текст] / Д. А. Франк–Каменецкий. – М.: Наука, 1967. – 490 с.
14. Боресков, Г. К. Катализ [Текст] / Г. К. Боресков. – Новосибирск: Наука, 1971. – 267 с.
15. Эммануэль, Н. М. Курс химической кинетики [Текст] / Н. М. Эммануэль, Д. Г. Кнорре. – М.: Высш. школа, 1974. – 400 с.

References

1. Toyama, S., Nakamura, M., Mori, H., Kanai, K., and Nachi, T. (1990). Proc. World Cong. Particle Tech., Kyoto, Japan, 360–367.
2. Patent UK № 861802-A. Fibrous titanium dioxide and its production. Application number GB19590020479 1959.06.15, application date: June 15, 1959, publication date: February 22, 1961.
3. Shaporev, V. P. (1994). Technology of inorganic reinforcing fillers. Kharkov state polytechnic institute, Kharkiv, Ukraine, 365.
4. Hee, D. J., Jinki, J. (1995). The Effects of Temperature on Particle Size in the Gas-Phase Production of TiO₂, Aerosol Science and Technology, 23 (4), 553–560. doi: 10.1080/02786829508965337
5. Suyama, Y., Kato, A. (1976). TiO₂ produced by vapor-phase oxygenolysis of TiCl₄. J Am Ceram Soc., 59(3–4):146–149. doi: 10.1111/j.1151-2916.1976.tb09453.x

6. Kobata, A., Kusakabe, I., Morooka, S. (1991). Growth and transformation of TiO₂ crystallites in aerosol reactor. AIChE, 37 (3), 347–359. doi: 10.1002/aic.690370305
7. Akhtar, M. K., Xiong, Y., Pratsinis, S. E. (1991). AIChE, 37 (10), 1561–1570. doi: 10.1002/aic.690371013
8. Nakaso, K., Okuyama, K., Shimada, M., Pratsinis, S. E. (2003). Effect of reaction temperature on CVD-made TiO₂ primary particle diameter. Chemical Engineering Science, 58 (15), 3327–3335 doi: 10.1016/s0009-2509(03)00213-6
9. Drago, R. S. (1977). Physical methods in chemistry, Philadelphia: Saunders, 660.
10. Gorelik, S. S., Rastorguyev, L. N., Skakov, Yu. A. (1970). Sciagraphy and electrosensitive analysis. Moscow, USSR: Metallurgy, 365.
11. Shaporev, V. P. (1992). Physical and chemical properties of threadlike crystals K₂Ti₆O₁₃, synthesized by different methods, Izd. AS USSR. 28 (8), 1045–1052.
12. Kafarov, V. V. (1962). Bases of mass transmissions massoperedachy Moscow, USSR: High school Publishing House, 655.
13. Frank–Kamenetskiy, D. A. (1967). Diffusion and heat-transfer in chemical kinetics. Moscow, USSR: Nauka Publishing House, 490.
14. Boreskov, G. K. (1971). Catalysis. Novosibirsk, USSR: Nauka Publishing House, 267.
15. Emanuel, N. M., Knorre, D. G. (1974). Course of chemical kinetics. Moscow, USSR: High school Publishing House, 400.

Дата надходження рукопису 17.10.2014

Шапорев Валерий Павлович, доктор технических наук, профессор, кафедра химической техники и промышленной экологии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

E-mail: fiola2008@mail.ru

Шестопалов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра химической техники и промышленной экологии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

E-mail: pheonix_alex@mail.ru

Питак Инна Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, кафедра химической техники и промышленной экологии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

E-mail: ipitak5@gmail.com

УДК 681.324

DOI: 10.15587/2313-8416.2014.28685

МЕТОДИ УСУНЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО НАСИЧЕННЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З ПІД-РЕГУЛЯТОРАМИ

© Д. О. Кроніковський

При використанні класичних ПІД-регуляторів в реальних об'єктах виникає ефект інтегрального насичення, що негативно впливає на якість процесу регулювання.

Було розглянуто жомосушарку цукрового заводу, як реальний об'єкт автоматизації. На основі моделювання процесів керування в жомосушарці було продемонстровано вплив інтегрального насичення. Розглянуто використання сучасних підходів для усунення цього ефекту.

Ключові слова: інтегральне насичення, ПІД-регулятори, жомосушарка, час регулювання, якість регулювання.

The effect of integral saturation that reduces the quality of regulation appears with classic PID-controller usage in the real conditions.

The pulp dryer of sugar factory as the real object of automation is considered. The impact of integral saturation is demonstrated based on the control processes modeling in pulp dryer. A modern methods to eliminate the integral saturation are considered.

Keywords: integral saturation, PID-controllers, pulp dryer, regulation time, regulation quality.

1. Вступ

Дуже часто в моделях допускається умова реверсу управління, що рідко є прийнятним у виробництві, адже не можна відкрити клапан у від'ємну сторону, і тим самим перенаправити потік, або ж увімкнути охолодження при нагріві парою. Саме така відірваність моделей і реального виробництва часто призводить до невідповідності змодельованих та реальних процесів.

ПД-регулятори успішно застосовуються для вирішення широкого кола завдань керування технологічними процесами харчової промисловості. Однак ефективність їх використання може значно зменшуватися, якщо на вихідний сигнал регулятора накладаються обмеження. При цьому може виникати ефект "інтегрального насичення", що значно знижує якість регулювання.

2. Постановка задачі

Поставленою задачею є аналіз впливу інтегрального насичення на якість регулювання та пошук дієвих методів його усунення в реальних системах автоматичного регулювання на прикладі жомосушарки цукрового заводу.

3. Літературний огляд

Питанням моделювання систем автоматичного регулювання займається багато науковців, проте не всі вони оцінюють різницю між теоретичним та реальним об'єктом. Детально такими дослідженнями займалися С. Манабле, К. Астром, Денісенко В. В., Валуєва Ю. С., Ковриго Ю. М., та ін. [1–5]. Вони, досліджуючи реальні об'єкти, виявили відмінності у вигляді нелінійностей, одним з результатів прояву яких є інтегральне насичення. Серед проаналізованих джерел виявлено дослідження лише деяких вибіркового методів усунення інтегрального насичення. Також, не досліджено порівняльну зміну положення виконавчого механізму для запропонованих методик і без них.

4. Дослідження впливу інтегрального насичення та методів його усунення

Інтегральне насичення виникає в лінійних ПД (П) регуляторах при виході керуючого сигналу за межі лінійної зони. У сталому режимі роботи й при малих збуреннях більшість систем з ПД-регуляторами є лінійними. Однак процес виходу на режим практично завжди вимагає врахування нелінійності типу «обмеження». Ця нелінійність пов'язана із природними обмеженнями на потужність, швидкість, частоту обертання, кут повороту, площу поперечного перерізу клапана, динамічний діапазон і т. д. Контур регулювання в системі, що перебуває в насиченні (коли змінна досягла обмеження), виявляється розімкнутим, оскільки при зміні змінної на вході ланки з

обмеженням його, вихідна змінна залишається без змін.

Найбільш типовим проявом режиму обмеження є інтегральне насичення, яке приводить до затягування перехідного процесу. Суть проблеми інтегрального насичення полягає в тому, що якщо сигнал на вході об'єкта керування $u(t)$ увійшов у зону насичення (обмеження), а сигнал розузгодження $r(t) - y(t)$ не дорівнює нулю, інтегратор продовжує інтегрувати, тобто сигнал на його виході росте, але цей сигнал не бере участь у процесі регулювання та не впливає на об'єкт внаслідок ефекту насичення. Система керування в цьому випадку стає еквівалентною розімкнутій системі, сигнал на вході якої дорівнює рівню насичення керуючого сигналу $u(t)$.

Ефект інтегрального насичення відомий давно. В аналогових регуляторах його усунення було досить складним, оскільки в них проблема не могла бути вирішена алгоритмічно, а вирішувалася тільки апаратними засобами. З появою мікропроцесорів проблему вдається вирішити набагато ефективніше.

Методи усунення інтегрального насичення є актуальними питаннями для науковців і на сьогодні. Серед найрозповсюдженіших варто відмітити [2]:

- обмеження швидкості наростання вхідного впливу;
- алгоритмічна заборона інтегрування;
- компенсація насичення за допомогою додаткового зворотного зв'язку;
- умовне інтегрування;
- інтегратор з обмеженням.

Досить простим в реалізації є метод обмеження швидкості наростання вхідного впливу. Оскільки максимальне значення вхідного впливу на об'єкт керування $u(t)$ знижується зі зменшенням різниці $r(t) - y(t)$, то для усунення ефекту обмеження можна просто знизити швидкість наростання сигналу уставки $r(t)$, наприклад, за допомогою фільтра. Недоліком такого способу є зниження швидкодії системи, а також неможливість усунення інтегрального насичення, що викликане зовнішніми збуреннями.

Ще одним методом є алгоритмічна заборона інтегрування. Коли керуючий вплив на об'єкт досягає насичення, зворотний зв'язок розривається й інтегральна складова продовжує рости, навіть якщо при відсутності насичення вона повинна була б спадати. Тому один з методів усунення інтегрального насичення полягає в тому, що контролер стежить за величиною керуючого впливу на об'єкт, і як тільки вона досягає насичення, контролер вводить програмну заборону інтегрування для інтегральної складової.

Щодо методу умовного інтегрування, то він є узагальненням алгоритмічної заборони інтегрування. Після запровадження заборони інтегральна складова залишається постійною, на тому ж рівні, що вона мала в момент появи заборони інтегрування.

Узагальнення полягає в тому, що заборона інтегрування настає не тільки при досягненні насичення, але й при деяких інших умовах.

Для прикладу розглянуто варіант контролю температури сушильного агента жомосушарки. Жомосушарка є енергозатратною і тому важливою для подальшої оптимізації системою автоматизації. Найбільш ефективною системою управління процесом сушіння жому є регулювання подачі палива в топку за вологістю сирого жому. Через відсутність приладів вимірювання вологи використовують непрямий показник - температуру газів на виході з апарата, який характеризує кількість води в сирому жомі на вході в барабан і в сухому жомі на виході з барабану. Гази проходять через барабан протягом декількох секунд, тому імпульс по температурі газів є малоінерційним і прийнятний для створення системи управління подачею палива.

Автоматизація сушіння за вологості сухого жому, навіть при наявності спеціальних датчиків, ускладнена через велику інерційність об'єкта управління, так як сушіння продовжується 30–50 хв. Відповідно температура вихідних газів найбільш повно і своєчасно характеризує процес сушіння.

Аналізуючи динамічні і статичні характеристики об'єкта, можна зробити наступний висновок щодо вибору управляючої дії і основних збурень, які діють на об'єкт. Так як, максимальна зміна величини, що регулюється (температура вихідних газів), викликана зміною витрати палива (природний газ), то саме цей параметр є управляючою дією на об'єкт.

Суттєво впливає на процес сушіння зміна витрати жому, який подається в сушильний барабан, та його вологість, в залежності від якої буде витрачатися більша або менша кількість палива. Отже, витрата та вологість жому – основні збурення, які діють на об'єкт, так як їх зміна суттєво впливає на процес сушіння, на його ефективність, якість та економію паливних ресурсів.

Таким чином, створено спрощену параметричну схему жомосушильної установки, яка наведена на рис. 1

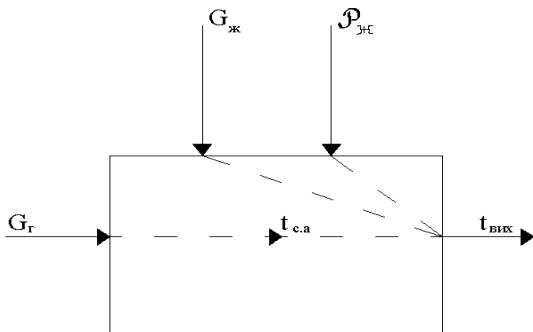


Рис. 1. Параметрична схема жомосушильної установки цукрового заводу

Наведено для досліджуваного об'єкта систему диференціальних рівнянь наступного вигляду:

$$\begin{cases} T_1 \frac{dt_r(\tau)}{d\tau} + \Delta t_r = K_1 \Delta G_r(\tau); \\ T_2 \frac{dt_{c.a}(\tau)}{d\tau} + \Delta t_{c.a}(\tau) = K_2 \Delta t_r(\tau); \\ T_3 \frac{dt_{вих}(\tau)}{d\tau} + \Delta t_{вих}(\tau) = K_3 \Delta t_{c.a}(\tau) + K_4 \Delta G_{жс}(\tau) + K_5 \Delta \rho_{жс}(\tau), \end{cases} \quad (1)$$

де G_r – витрата природного газу, м³/год; $G_{жс}$ – витрата вологого жому, який поступає в сушильний барабан кг/год; $\rho_{жс}$ – вологість жому, %; t_r – температура природного газу на виході з камери змішування, °C; $t_{вих}$ – температура вихідних димових газів, °C; $t_{c.a.}$ – температура сушильного агента, який поступає в сушильний барабан, °C; T_1, T_2, T_3 – постійні часу об'єкту; K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – коефіцієнти передачі за каналами управління та збурення.

На характер протікання процесу сушки жому впливає ряд вхідних і проміжних факторів: витрата палива, його якість і склад, витрата і температура повітря, яке подається в камеру згорання і камеру змішування, витрата, вологість і температура жому, його якість, кількість сухих речовин у матеріалі, швидкість обертання барабану і ряд інших факторів. Залежність техніко-економічних показників від ряду різноманітних факторів задає високі вимоги до системи управління.

Основними з цих вимог є:

- отримання сухого жому заданої вологості;
- забезпечення заданої продуктивності;
- мінімізація витрат на виробництво продукту.

Використовуючи (1), складено систему диференціальних рівнянь для досліджуваної жомосушильної установки, за умови, що

$$\begin{aligned} T_1 = 50c, T_2 = 70c, T_3 = 90c, K_1 = 0.8, \\ K_2 = 1, K_3 = 1.2, K_4 = 0.9, K_5 = 1.1. \end{aligned} \quad (2)$$

Тоді маємо:

$$\begin{cases} 50 \frac{dt_r(\tau)}{d\tau} + \Delta t_r = 0.8 * \Delta G_r(\tau); \\ 70 \frac{dt_{c.a}(\tau)}{d\tau} + \Delta t_{c.a}(\tau) = 1 * \Delta t_r(\tau); \\ 90 \frac{dt_{вих}(\tau)}{d\tau} + \Delta t_{вих}(\tau) = 1.2 * \Delta t_{c.a}(\tau) + 0.9 * \Delta G_{жс}(\tau) + 1.1 * \Delta \rho_{жс}(\tau). \end{cases} \quad (3)$$

Для початку проведено дослідження перехідних процесів з та без обмежень на управління рис. 2.

Як видно з рис. 2 процеси з та без обмежень управління значно відрізняються, зокрема час виходу на завдання становить 332 с та 1254 с. Також очевидним є вплив інтегрального насичення, що призводить до надмірного утримання контрольованого параметру 802 с. Це надзвичайно негативний для виробництва фактор, що свідчить про надмірну витрату енергоресурсів та не забезпечення якісних характеристик управління, що вплине на якість вихідної продукції. Розглянуто дію управління з та без обмеження, а також зміну величини інтегрального насичення (рис. 3).

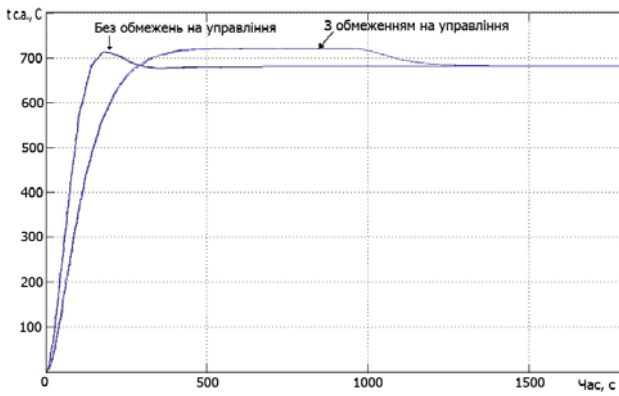


Рис. 2. Перехідні процеси з та без обмежень управління

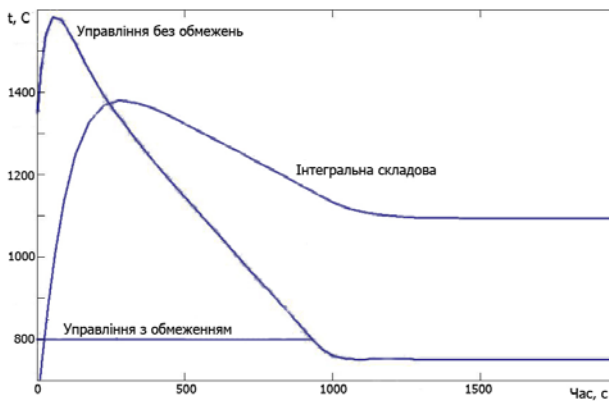


Рис. 3. Дія управління з та без обмежень та величина інтегральної складової

Це ще раз підтверджує, що швидкодія САР на рис. 2 забезпечувалася потужністю управління, якого не можливо отримати в реальній системі. Також очевидно, що введення обмеження призводить до наростання інтегрального насичення.

Для уникнення даної ситуації запропоновано варіант нівелювання ефекту інтегрального насичення, що включає реалізацію додаткового зв'язку. Так, компенсація насичення за допомогою додаткового зворотного зв'язку полягає в тому, що ефект інтегрального насичення можна послабити, відслідковуючи стан виконавчого пристрою, що входить у насичення, і компенсуючи сигнал, що подається на вхід інтегратора. Структура системи з таким компенсатором показана на рис. 4.

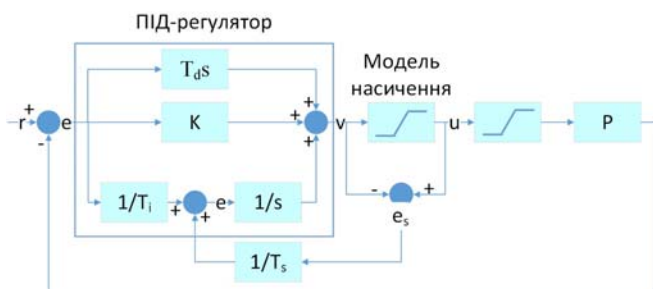


Рис. 4. Компенсація ефекту інтегрального насичення за допомогою додаткового зворотного зв'язку для передачі помилки сигналу e_s на вхід інтегратора

Принцип роботи полягає в тому, що у системі виробляється сигнал неузгодженості між входом і виходом виконавчого пристрою $e_s = u - v$. Сигнал на виході виконавчого пристрою або вимірюють, або обчислюють, використовуючи математичну модель. Якщо $e_s = 0$, то це еквівалентно відсутності компенсатора й одержимо звичайний ПІД-регулятор. Якщо ж виконавчий пристрій входить у насичення, то $v > u$ й $e_s < 0$. При цьому сигнал на вході інтегратора зменшується на величину помилки e_s , що приводить до росту сигналу на виході інтегратора, зменшенню сигналу неузгодженості й величини викиду на перехідній характеристиці системи. Постійна часу T_s визначає ступінь компенсації сигналу неузгодженості [3].

Для жомосушки нівелювання ефекту інтегрального насичення представлено та реалізовано в програмі MatLab.

Така структурна реалізація системи автоматизації дозволяє скомпенсувати наростання інтегрального насичення в той момент, коли обмежене управління сягає максимуму. На рис. 5 наглядно представлено реалізацію цього варіанту в розрізі перехідного процесу.

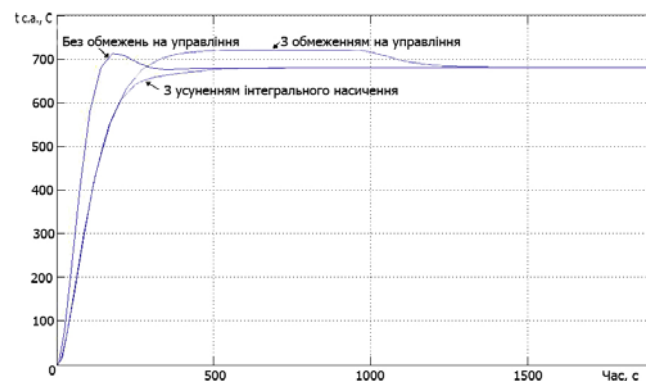


Рис. 5. Порівняльні перехідні процеси з та без компенсації інтегрального насичення

5. Висновки

Проведений аналіз впливу інтегрального насичення на якість процесу регулювання виявив значний вплив у вигляді затягування часу регулювання. Так для жомосушки ефект інтегрального насичення затягнув процес регулювання майже в 4 рази. В ході дослідження було обрано метод усунення інтегрального насичення, що реалізований як зворотній зв'язок. Результати (рис. 5) свідчать про те, що інтегральне насичення було повністю скомпенсоване, а система автоматизації залишилася прийнятною за швидкодією при наявному обмеженні управління.

Література

1. Murray, R. M. A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation [Text] / R. M. Murray, Z. Li, S. S. Sastry; 4-th ed. – CRC Press, 2006. – 474 p.
2. Astrom, K. J. Advanced PID control [Text] / K. J. Astrom. – ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society), 2014. – 662 p.

3. Денисенко, В. В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации [Текст] / В. В. Денисенко // СТА. – 2006. – № 4. – С. 66–74.

4. Волуева, О. С. Компенсация эффекта интегрального насыщения регулятора в системе управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ [Текст] / О. С. Волуева // Наукові праці ДонНТУ. Серія: обчислювальна техніка та автоматизація. – 2013. – № 2 (25). – С. 13–20.

5. Ковриго, Ю. М. Математическое моделирование систем автоматического регулирования с учетом ограничений на управление в пакете Matlab [Текст] / Ю. М. Ковриго, Б. В. Фоменко, И. А. Полищук // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2007. – № 2. – С. 21–28.

6. Дьяконов, В. П. Matlab 6.5 SP1/7.0 Simulink 5/6. Основы применения [Текст] / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 806 с.

References

1. Murray, R. M., Li, Z., Sastry, S. S. (2006). A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation. CRC Press, 4-th ed, 474.

2. Astrom, K. J. (2014). Advanced PID control. ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society), 662.

3. Denisenko, V. V. (2006). PID-regulyatoryi: printsipy postroyeniya i modifikatsii [PID controllers: principles of construction and modification]. STA, 4, 66–74.

4. Volueva, O. S. (2013). Kompensatsiya effekta integralnogo nasyischniya regulyatora v sisteme upravleniya urovнем metalla v kristallizatore MNLZ [Integral saturation effect compensation in controller for automation system of metal level in the continuous caster mold]. Proceedings Donetsk National Technical University, series: Computer Science and Automation, 2 (25), 13–20.

5. Kovrigo, Yu. M. (2007). Matematicheskoe modelirovanie sistem avtomaticheskogo regulirovaniya s uchetom ogranicheniy na upravlenie v pakete Matlab [Mathematical modeling of automatic control systems, taking into account limitation of control in Matlab program]. Automatics. Automatization. Electrical equipment and systems, 2, 21–28.

6. Dyakonov, V. P. (2005). Matlab 6.5 SP1/7.0 Simulink 5/6. Osnovy primeneniya [Matlab 6.5 SP1 / 7.0 Simulink 5/6. Basic Usage]. Moscow: SOLON-Press, 806.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, проф. Ладанюк А. П.
Дата надходження рукопису 23.10.2014*

Крониковський Дмитро Олегович, доцент, кандидат технічних наук, кафедра Автоматизації процесів управління, Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601

E-mail: kronikovsky@gmail.com

УДК 677.014.84

DOI: 10.15587/2313-8416.2014.28686

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН (НИТЕЙ) МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МИКРОСКОПИИ

© Г. А. Скрипко

Представлен инновационный подход к контролю качества полиэфирных волокон и нитей, который предусматривает проведение анализа внутренней структуры волокнообразующего полимера. Показано, что использование метода поляризационной микроскопии дает возможность выявлять пороки внутренней структуры полиэфирных волокон (нитей), а также вести контроль на соответствие качества волокнообразующего полимера образцу.

Ключевые слова: полиэфирное волокно, поляризационная микроскопия, внутренняя структура полимера, интерференционная картина, образец.

Innovative approach in the quality control of polyester fibers and yarns, which provides conduction of analysis of inner structure of fiber-forming polymer, is represented. The fact that the usage of polarization microscopy method gives an opportunity to reveal the faults of inner structure of polyester fibers (yarns) and also to conduct the control concerning correspondence of quality of fiber-forming polymer to the sample is shown.

Keywords: polyester fiber, polarization microscopy, inner structure of polymer, interference pattern, sample.

1. Введение

Проблема, рассматриваемая в статье, актуальна для текстильного сектора. Решение проблемы связано с усовершенствованием оценки качества полиэфирных (ПЭ) волокон и элементарных нитей.

Необходимость в инновационном подходе к контролю качества химических волокон и нитей, в частности ПЭ, связана с ежегодным увеличением их

объема производства. По данным маркетингового анализа [1] в 2011 году мировое производство всех видов волокон составило 84,1 млн.т., из них 51 млн. т. приходится на химические волокна и нити. Среди химических волокон доминирующее положение по-прежнему занимают ПЭ волокна и нити – 39 млн. т. Наиболее высокий прирост производства этого вида продукции отмечен в Турции – 29 %, США – 20 %, Китае – 16 %, Ю. Корея – 14 %, Японии – 12 % [2].