УДК 621.372

Носко С. В., к.т.н., доц., Шевчук А. А.
НТУУ «Киевский политехнический институт». г. Киев, Украина

МЕХАНОТРОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ В ФОРМУЮЩЕЙ ГОЛОВКЕ ЭКСТРУДЕРА

Nosko S., Shevchuk A.
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

MECHATRONIK SYSTEM OF AUTOMATIC DIFFERENTIAL PRESSURE CONTROL IN FORMING DIE OF EXTRUDING MACHINE

Рассматривается механотронная система, обеспечивающая автоматическое поддержание постоянного перепада давления в каналах формующей головки. Разработаны конструктивные решения дросселирующих элементов головки, предусматривающие рациональные гидродинамические условия течения перерабатываемого материала. Определены участки гидродинамической стабилизации потока материала после дросселирующих элементов головки. Полученные решения позволяют расширить область применения головки за счет стабилизации давления по всей длине формующего канала при переработке сырья с различными реологическими свойствами.
Ключевые слова: механотронная система автоматического регулирования перепада давления, усовершенствование конструкции дросселирующих элементов, гидродинамическая стабилизация потока.

Введение

Переработка полимеров методом экструзии является перспективным технологическим процессом, обеспечивающим высокую производительность и возможность полной автоматизации. Процесс экструзии предусматривает предварительную пластикацию и гомогенизацию перерабатываемого материала, и его дальнейшее течение через каналы формующей головки. На течение полимера в формующей головке влияют ряд факторов, такие как реологические свойства материала, напряжение сдвига и температура, перепад давления в каналах, изменяющих его свойства и тем самым определяющих качество получаемых изделий.

Стабилизация перепада давления при нарушении режима работы экструдера (пульсации производительности и давления), изменении состава и реологических свойств перерабатываемого сырья обеспечивает требуемую прочность, плотность и монолитность изделий экструзии.

Как показал анализ публикации, существует ряд конструктивных решений формующих головок экструдеров позволяющих регулировать их сопротивление. Так, в патентах [1-4], стабилизация давления в предматричной зоне экструдера осуществляется за счет варьирования проходного сечения формующего канала перемещением дросселирующих элементов конструкции (профилирующих пластин, поверхностей клинового типа, перфорированного диска) связанных механически с пружинами, которые подобраны и отрегулированы на определенное усилие сжатия, зависящее от конкретных технологических параметров. При достижении баланса сил сжатия пружин и сил давления протекающего материала, регулирующие проходное сечение головки элементы занимают новое равновесное положение, соответствующие данному режиму экструзии.

Вышерассмотренные управляемые головки имеют малый диапазон изменения гидравлического сопротивления, а дросселирующие элементы конструкции приводят к дестабилизации потока перерабатываемого материала и образованию «застойных» зон, что создает дополнительные местные потери давления. Недостатком известных головок является, также, сложность конструкции механизмов регулирования проходного сечения формующих каналов, вследствие чего стабильность процесса экструзии не гарантируется. Кроме того, данные головки являются узкоспециализированными, предназначенными для переработки одного вида сырья с определенными реологическими свойствами и не предусматривают возможности автоматического регулирования перепада давления в формирующих каналах.

В существующих конструкциях [5, 6] регулирование давления на входе в головку обеспечивается за счет смонтированных по внутренней поверхности корпуса соосно оси шнека упругих элементов имеющих возможность растяжения-сжатия с изменением поперечного сечения каналов. Данное техническое решение обеспечивает рациональные гидродинамические условия течения материала и не создает дополнительных потерь давления. Однако, пределы регулирования проходного сечения головки упругими элементами, характеристики пружин взаимодействующих с ними, зависят от производительности экструдера и реологических свойств перерабатываемого сырья, что в свою очередь приводит к нестабильности проведения технологического процесса, а настройку заданного режима необходимо производить с участием оператора вручную при полной остановке процесса экструзии.

В последнее время наметилась тенденция в создании многоуровневых систем автоматического управления экструдером [7-9]. Такие системы управления решают задачи оптимизации большого числа параметров определяющих технологический процесс, путем измерения, в зависимости от уровня регулирования их текущих значений, таких как влажность, температура, расход и давление материала в головке, потребляемую мощность регулируемого привода экструдера с соответствующей коррекцией режимов управления для минимизации материально-энергетических затрат.

Некоторые системы автоматического управления предусматривают поэтапный вывод экструдера на максимальную производительность, что приводит к увеличению удельных энергозатрат на технологический процесс. Недостатком рассмотренных систем является, не всегда приемлемая точность измерения температуры, влажности, расхода и давления в процессе движения и нагрева материала, обусловленная измерением усредненных данных параметров в ограниченном количестве точек и инерционностью процессов теплопередачи.

Цель работы

Разработка механотронной системы автоматического регулирования перепада давления в формующих каналах и усовершенствование дросселирующих элементов головки обеспечивающих гидродинамическую стабилизацию течения перерабатываемого материала при различных режимах экструзионного процесса.

В связи с тем, что величина перепада давления в головке определяет значение напряжений сдвига и скорости течения в ее каналах и соответственно приводят к изменению усилий действующих на элементы головки, то перед разработкой системы регулирования необходимо было усовершенствовать конструкцию дросселирующих элементов обеспечивающих заданные рациональные гидродинамические условия течения перерабатываемого материала.

При разработке конструкций дросселирующих устройств головки использовались аналитические исследования и экспериментальные результаты по определению гидродинамических характеристик нестабилизированого течения аномально-вязких сред в местных сопротивлениях при различных условиях входа [10, 11].

Наиболее близкими по технической сущности является конструктивное решение экструзионной формующей головки с не регулированным проходным сечением [12]. В корпусе данной головки установлена фильера, выпуклая поверхность которой обращена в сторону входа материала, а формующие цилиндрические каналы выполнены в фильере параллельно оси шнека экструдера имеют переменную длину. Экструзионная головка не обеспечивает стабилизацию перепада давления при изменении параметров технологического процесса и может быть использована для гранулирования одного вида материала триполифосфата натрия.

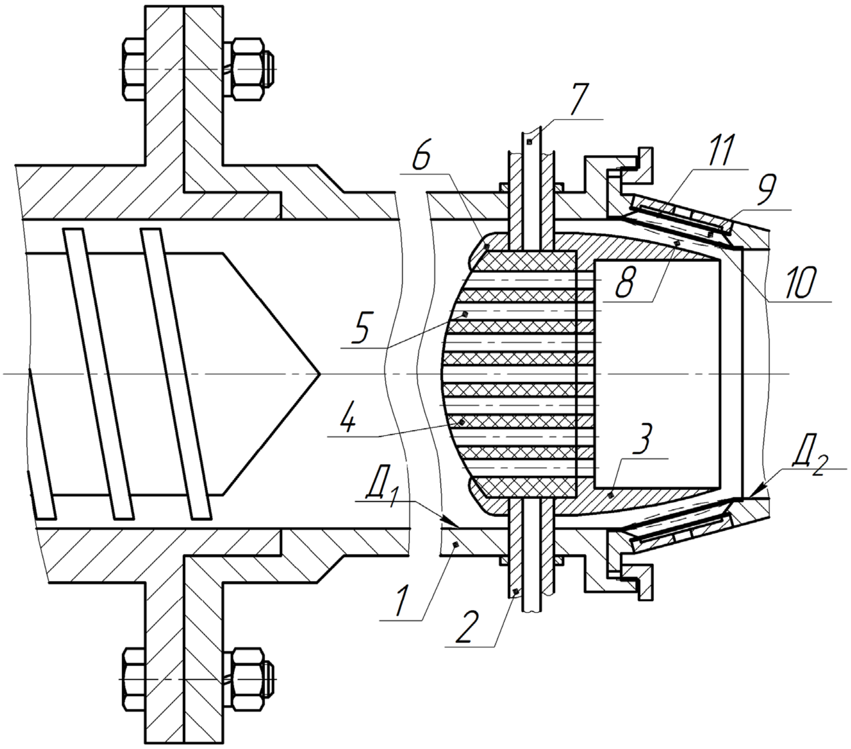

Рис. 1. Продольный разрез канала головки с регулируемым сопротивлением

В корпусе 1 формующей головки (рис.1) при помощи полых держателей 2, закреплена фильера с регулируемой площадью проходного сечения, в корпусе 3 которой размещен упругий элемент 4 имеющий дросселирующие каналы переменной длины 5, уменьшающиеся от его оси в радиальном направлении. Корпус фильеры содержит сегментные сектора 6, охватывающие упругий элемент, имеющий возможность деформироваться при радиальном перемещении штока 7 в полом держателе от усилия, создаваемого гидроцилиндром системы регулирования. Таким образом, выпуклая поверхность фильеры, направленная в сторону входа материала, и возможность при упругом растяжении-сжатии элемента 4 изменять проходное сечение дросселирующих каналов позволяет осуществить выравнивание перепада давления по поперечному сечению канала формующей головки, например, при увеличении объемного расхода вызванного увеличением скорости вращения червяка экструдера.

Гидравлическое сопротивление конического кольцевого канала образованного поверхностью фильеры 8 и корпусом формующей головки регулируется следующим образом. Внутренняя замкнутая полость 9 между гибкой конусной оболочкой 10 и защемленной в корпусе головки мембраной 11, воспринимающей усилие от штока гидроцилиндра, заполнена силиконовой жидкостью. Давление в полости 9 создаваемое усилием штока гидроцилиндра противостоит давлению материала протекающего вдоль конической поверхности фильеры и гибкой оболочкой. Гибкая оболочка, под действием изменяющегося внутреннего давления в замкнутой полости, расширяется (сжимается) по всему радиальному направлению, занимая при этом новое положение (обозначенное на рис.1 пунктирной линией), а проходное сечение для движущегося вдоль данного участка материала уменьшается или увеличивается, и, следовательно, автоматически изменяется гидравлическое сопротивление конического кольцевого канала головки.

Места установки датчиков давления обозначены на рис.1 стрелками $Д_1$ и $Д_2$.

Анализ дифференциальных уравнений описывающих движение неньютоновских сред в каналах со сложной геометрией, имеющих местные сопротивления, позволили установить условия в конце участка гидродинамической стабилизации.

Для потока, протекающего через каналы фильеры:

- для ньютоновской среды:

$$U_x(Y)=\frac{3}{2}U_{x\,ср.}\left[1-\left(\frac{Y}{Д_{пр.}}\right)^2\right], \tag{1}$$

где $U_x, U_{x\,ср.}$- локальная и средняя скорости;

$Д_{пр.}$- приведенный диаметр канала;

x- осевая координата канала;

- для псевдопластичной и дилатантной среды:

$$U_x(Y)=\frac{n}{n+1}\left(\frac{1}{K\cdot l}\frac{\partial P}{\partial x}\right)^{1/n}\left[\left(\frac{Д_{пр.}}{2}\right)^{\frac{n+1}{n}}\cdot Y^{\frac{n+1}{n}}\right], \tag{2}$$

где n – индекс течения;

K – консистентная постоянная;

l – длина канала;

P - давление

- для бингамовского пластика:

$$U_x(Y)=\frac{1}{2\mu_\partial}\frac{\partial P}{\partial x}\left[\left(\frac{Д_{пр.}}{2}\right)-Y^2\right]-\frac{\tau_0}{\mu_\partial}\left(\frac{Д_{пр.}}{2}-Y\right), \tag{3}$$

где τ_0 – предел текучести, характеризующий пластические свойства среды;

μ_∂ - бингамовская вязкость;

- закон Баркли-Гершеля:

$$U_x(Y)=\frac{2}{\frac{n+1}{n}\mu_\partial\frac{\partial P}{\partial x}}\left[\left(\frac{Д_{пр.}}{2}\frac{\partial P}{\partial x}-\tau_0\right)^{\frac{1}{n}+1}-\left(\frac{1}{2}\frac{\partial P}{\partial x}-\tau_0\right)^{\frac{1}{n}+1}\right]. \tag{4}$$

Потери давления при течении «степенной» жидкости через каналы регулируемой фильеры [12]:

$$\Delta P=\frac{2(n+3)l_1\cdot Q^{\frac{1}{n}}}{\pi\cdot K\cdot m\cdot r}, \tag{5}$$

где l_l – толщина фильеры;

Q – объемный расход материала;

m – количество формующих каналов;

r – радиус формующего канала.

Течение в коническом кольцевом канале образованном поверхностью фильеры 7 и упругой оболочкой 9 (рис.1) происходит с изменяющейся по длине площадью поперечного сечения потока. Влияние данного фактора приводит к проявлению сил инерции в потоке от конвективного ускорения, и как следствие, к дестабилизации течения с переменным по длине градиентом скорости.

Следовательно, принимая данную схему течения, закон изменения средней скорости потока по длине канала и потери давления для неньютоновской жидкости Оствальда де Виля, соответственно согласно [13] можно определить:

$$\left(U_{ср.}\right)_x = \left(U_{ср.}\right)_{вх.}\left[\frac{R^2}{\left(R - x\cdot tg\alpha\right)^2}\right], \tag{6}$$

где $(U_{ср.})_{вх}$ – средняя скорость потока на входе в канал;

R – внешний радиус конической щели;

α – угол наклона поверхностей образующих щель.

$$\Delta P_к = \frac{2\mu Q}{qBtg\alpha}\left(\frac{1}{H_2^2} - \frac{1}{H_1^2}\right), \tag{7}$$

где B – постоянная величина зависящая от температуры;

q – размерный коэффициент;

$H_1=(R-R_{внутр.})_{входа}$; $H_2=(R-R_{внутр.})_{выхода.}$

Общие потери давления в дросселирующих элементах формующей головки рассчитывается как сумма потерь давления в фильере $\Delta P_{ср}$ и потерь давления в коническом кольцевом канале $\Delta P_к$:

$$\Delta P = \Delta P_ф + \Delta P_к + \Delta P_{доп.}, \tag{8}$$

где $\Delta P_{доп.}$ – дополнительные потери давления, связанные с дестабилизацией потока.

Расчетные зависимости для определения дополнительных потерь давления $\Delta P_{доп.}$ в местных сопротивлениях с различными условиями входа приведены в работках [10,11].

Функциональная схема механотронной системы автоматической стабилизации перепада давления в формующей головке червячной машины приведена на рис.2.

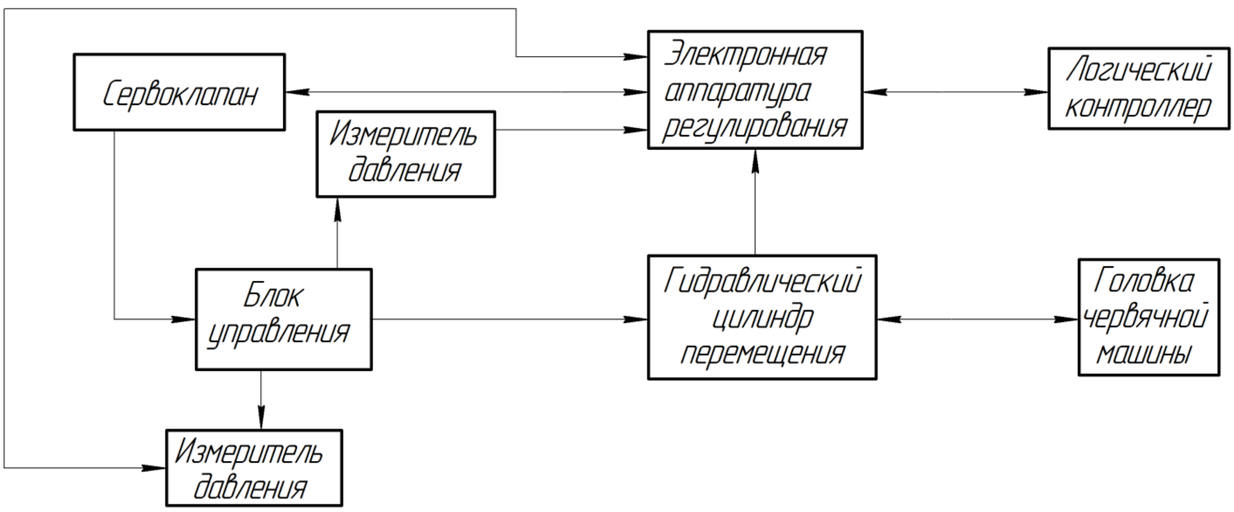

Рис. 2. Функциональная схема механотронной системы автоматической стабилизации давления в формующей головке

Питание механотронной системы автоматического регулирования перепада давления в каналах формующей головки осуществляется от насосной станции экструдера.

Система автоматического регулирования, включающая сервогидравлический привод с высокоточными цилиндрами и гидроагрегатами производства «Рексрот» обеспечивающих оптимальное управление процессом стабилизации давления в формующей головке. Модули электронной аппаратуры регулирования предполагают генерацию управляющих сигналов, осевую коррекцию и локальную обратную связь. Система включает так же датчики перемещения и давления, а так же аналоговую измерительную часть. Параметры гидравлического регулирования, такие как положение, давление и скорость заложены в алгоритм регулирования [14].

Выводы

При разработке были решены следующие задачи:

1.Получные в ходе исследования, аналитические и экспериментальные данные, позволили обосновано усовершенствовать конструкцию формующей головки, обеспечивающую оптимальные гидродинамические условия течения материала в неоднородных каналах.

2. Определены уравнения напорно-расходных характеристик для различных зон разработанной формующей головки.

3. Применение механотронной системы автоматического регулирования перепада давления в головке существенно расширяет диапазон рабочих скоростей экструдера, уменьшает энергозатраты технического процесса и повышает его универсальность.

Анотація. *Розглядається механотронна система яка забезпечує автоматичне підтримання постійного перепаду тиску в каналах формуючої головки. Розроблено конструктивні рішення дроселюючих елементів головки які передбачають раціональні гідродинамічні умови протікання матеріалу, що переробляється. Визначено ділянки гідродинамічної стабілізації потоку матеріалу після дроселюючих елементів головки. Отримані рішення дозволяють розширити область застосування головки за рахунок стабілізації тиску по всій довжині формуючого каналу при переробці сировини з різними реологічними властивостями.*
Ключові слова: механотронна система автоматичного регулювання перепаду тиску, удосконалення конструкції дроселюючих елементів, гідродинамічна стабілізація потоку.

Abstract*. The advantages and disadvantages of existing technical solutions and methods of pressure stabilization in the forming die of the extruding machines were examined. The developed functional scheme of mechatronic system which provides automatic maintenance of a constant pressure drop in the forming die channels was shown. We presented construction solutions of the die restricting elements allowing use of mechatronic system and providing rational hydrodynamic flow conditions of the process material. Analysis of analytical studies and experimental results allowed us to determine calming lengths with the movement of various non-Newtonian fluids in die channels with a complex geometry and head and rate in the area of restricting element. Solutions obtained allowed to extend the application field of the forming die by stabilizing the pressure during raw materials processing with different rheological properties.*
Keywords: automatic vacuum tube differential pressure control, improving the design of throttling element hydrodynamic flow stabilization.

Библиографический список использованной литературы

1. *Пат.* 2161556 RU, B29C47/22. Экструдер для производства профильных изделий с регулируемым сечением формующего канала [Текст]/А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, Р.В. Ненахов, А.С. Рудометкин / Заявл. 09.07.1999. Опубл. 10.01.2001. Бюль. №1
2. *Пат.* 2185286 RU, B29C47/22. Формующее устройство экструдера [Текст]/А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.С. Рудометкин, А.С. Попов / Заявл. 26.10.2001. Опубл. 20.07.2002. Бюль. №20
3. *Пат.* 2010727 RU, B30B11/22. Устройство для формирования жгутов из пастообразных материалов [Текст]/Г.Ф. Кобец, А.К. Абрамов, В.В. Сотников / Заявл. 17.02.1992. Опубл. 15.04.1994.
4. *Пат.* 2142361 RU, B29C47/12. Головка экструдера с регулируемым профилем формующего канала [Текст]/А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, Р.В. Ненахов / Заявл. 08.10.1998. Опубл. 10.12.1999. Бюль. №34.
5. *Пат.* 2177411 RU, B29C47/22. Экструзионная головка для формирования профильных изделий из пластмасс [Текст]/В.Н. Аликин, Л.И. Голубцов, Г.Э. Кузьмицкий, Н.Н. Федченко / Заявл. 14.11.2000. Опубл. 27.12.2001.
6. *Пат.* 2213659 RU, B29C47/22. Формующая головка экструдера [Текст]/А.Н. Остриков, В.Н. Василенко, А.С. Попов / Заявл. 05.12.2002. Опубл. 10.10.2003.
7. *Пат.* 2130831 RU, B29C47/92. Способ автоматического управления экструдером [Текст]/А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, А.А. Данченков, О.В. Абрамов / Заявл. 15.12.1997. Опубл. 27.05.1999. Бюль.№15
8. *Пат.* 1643170 SU, B29C47/92B29L23. Система автоматического регулирования диаметра экструдируемого пленочного рукава [Текст]/Б.Н. Значковский / Заявл. 15.05.2001. Опубл. 20.07.2002. Бюль. №4.
9. *Пат.* 2178738 RU, B29C47/42. Способ Автоматического управления экструдером [Текст]/А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, Р.В. Ненахов, О.В. Абрамов / Заявл. 09.06.2000. Опубл. 27.01.2002. Бюль. №3.
10. *Носко С.В.,* Булыгин В.А. Гидродинамический расчет формующей части машины по переработке ацетата целлюлозы / Носко С.В., Булыгин В.А. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. -2012. - №217(56). – с. 48-52.
11. *Носко С.В.,* Мосийчук В.А. Исследования кинематических характеристик потока в каналах литниковой системы, методами визуализации / Носко С.В., Мосийчук В.А. Вестник Киевского политехнического института. Машиностроение. – 2011. Вып. 63. – с. 79-82.

12. *Лактинов А.А.,* Панов А.К, Зайцев Г.Е. Исследования гидродинамических характеристик шнекового пресса и реологических свойств сыпучего триполифосфата натрия в процессе его экструзионного гранулирования / А.А. Лактинов, А.К. Панов, Г.Е. Зайков / Пластические массы. – 2006. №9. – с.54-56.
13. *Яхно О.М.*, Бочковский В.С. Полывяный А.П., Кривошеев В.С. Формующий инструмент для производства кабеля экструзионным способом / О.М. Яхно, В.С. Бочковский, А.П. Полывяный, В.С. Кривошеев / - К.: Техніка, 1992.–37с.
14. *Гидравлические* средства автоматизации. Каталог. 1999 Бош Рексрот.

References

1. *Ostrikov A. N.*, Abramov O.V., Nenakhov R.V., Rudometkin A.S. Ekstruder dlya proizvodstva profil'nykh izdeliy s reguliruyemym secheniyem formuyushchego kanala [Extruder for the production of specialized products with variable cross-section of the mold channel]. Patent Rossii no 2161556. 10.01.2001.
2. *Ostrikov A. N.*, Abramov O.V., Rudometkin A.S., Popov A.S. Formuyushcheye ustroystvo ekstrudera [The forming extruder apparatus]. Patent Rossii no 2185286. 20.07.2002.
3. *Kobets G. F.*, Abramov A.K., Sotnikov V.V. Ustroystvo dlya formirovaniya zhgutov iz pastoobraznykh materialov [An apparatus for forming bundles of pasty materials]. Patent Rossii no 2010727. 15.04.1994.
4. *Ostrikov A. N.*, Abramov O.V., Nenakhov R.V. Golovka ekstrudera s reguliruyemym profilem formuyushchego kanala [Extruder head with adjustable mold channel profile]. Patent Rossii no 2142361. 10.12.1999.
5. *Alikin V. N.,* GolubtsovL.I., Kuz'mitskiy G.E., Fedchenko N.N. Ekstruzionnaya golovka dlya formirovaniya profil'nykh izdeliy iz plastmass [Extrusion head for the formation of specialized plastic products]. Patent Rossii no 2177411. 27.12.2001.
6. *Ostrikov A. N.,* Vasilenko V.N., Popov A.S. Formuyushchaya golovka ekstrudera [The forming head of extruder]. Patent Rossii no 2213659. 10.10.2003.
7. *Ostrikov A .N.,* Shevtsov A. A., DanchenkovA.A., Abramov O.V. Sposob avtomaticheskogo upravleniya ekstruderom [A method of automatic control extruder]. Patent Rossii no 2130831. 27.05.1999.
8. *Znachkovskiy B. N.* Sistema avtomaticheskogo regulirovaniya diametra ekstrudiruyemogo plenochnogo rukava [Automatic regulating the diameter of the extruded film tube]. Patent Rossii no 1643170. 20.07.2002.
9. *Ostrikrv A. N.,* Shevtsov A.A., Nenakhov R.V., Abramov O.V. Sposob Avtomaticheskogo upravleniya ekstruderom [Method for automatic control extruder]. Patent Rossii no 2178738. 27.01.2002.
10. *Nosko S.V.,* Bulygin V.A. East European Journal of advanced technologies. 2012, no 217(56)? pp. 48-52.
11. *Nosko S.V.*, Mosiychuk V.A. Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Politechnic Institute”, 2011, no 63, pp. 79-82.
12. *Laktinov A .A.,* Panov A.K, Zaytsev G.Ye. Plasticheskiye massy [Plastics]. 2006, no 9, pp. 54-56.
13. *Yakhno O. M.*, Bochkovskiy V.S.. Polyvyanyy A.P., Krivosheyev V.S. Formuyushchiy instrument dlya proizvodstva kabelya ekstruzionnym sposobom [Forming tool for the production of cable extrusion process]. Kyiv, 1992, 37 p.
14. *Gidravlicheskiye* sredstva avtomatizatsii [Catalog hydraulic automation]. Bosch Rexroth, 1999.

Подана до редакції 09.04.2014