

Обоснование необходимости контроля давления расплава при управлении процессом экструзии в полимерном производстве

Е.А. Рыжкова, О.М. Власенко, Ю.И. Яворский

*Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва*

Аннотация: Проведен анализ зависимостей давления расплава от прочих параметров процесса при переработке полимеров методом экструзии, а также намечены пути для разработки эффективной системы автоматического управления процессом экструзии в полимерном производстве.

Ключевые слова: экструзия полимеров, давление расплава, система автоматического управления экструдером.

Контроль давления в процессе переработки полимеров методом экструзии является одной из важнейших задач, и повышение эффективности управления данным параметром имеет особую практическую значимость. Для обеспечения стабильности геометрических размеров и качества экструдированных изделий в формующей головке экструдера должно поддерживаться постоянное давление расплава [1]. Возможность корректного регулирования также необходима не только при установившемся процессе, но и при динамическом режиме управления, когда технологом вносятся корректировки в технологические параметры процесса и важно, чтобы такие правки не привели к существенным изменениям давления в формующей головке экструдера.

Реализация контроля давления расплава осуществляется установкой датчика давления в зоне перед формующей головкой экструдера, и далее путем регулирования частоты вращения шнека варьируется создаваемое внутри экструдера давление [2].

Трудность реализации данного управления заключается в том, что расплавы полимеров являются неньютоновскими жидкостями, а, значит, их эффективная вязкость может меняться в зависимости от скорости сдвига и

температуры [3]. Изменение вязкости в процессе экструдирования может приводить к падению напора в формующей головке и, как следствие, к дефектам на поверхности изделий. Помимо этого, на выходе из формующей головки в процессе экструзии имеет место пульсация расплава ввиду неустойчивости давления, создаваемого внутри экструдера [4].

Для осуществления эффективного управления необходимо составить подробное математическое описание процесса экструзии, в должной мере учитывающее основные технологические и конструктивные параметры [5]. Ранее была разработана структурная схема для управления процессом экструзии, включающая в себя контур управления нагревателями, охлаждением и частотой вращения шнека (рис. 1) [6]. Разработанная система также учитывает влияние сдвиговых усилий на разогрев полимера, но не принимает во внимание давление расплава в формующей головке.

Исследуемая же система будет включать в себя управление давлением расплава, учитывая при этом конструктивные особенности экструдера, влияющие на создаваемое в нем давление, а также индивидуальные характеристики перерабатываемых полимеров, в особенности их вязкотекучие свойства. В дальнейшем проектируемая система будет дополнена более точными корректировками, исходя из реального технологического опыта наладки экструзионного оборудования.

Проанализировать движение материала внутри экструдера, а также зависимость давления расплава от температуры и скорости сдвига наглядно можно по формулам, приведенным ниже.

Производительность Q экструдера с учетом распределения скоростей различных потоков составляет:

$$Q = Q_{\alpha} - Q_{\beta} - Q_{\gamma} = \omega_{\text{шн}} \alpha - \frac{\beta \cdot P}{\eta} - \frac{\gamma \cdot P}{\eta}$$

где Q_α , Q_β , Q_γ – производительности экструдера от прямого потока, противотока и утечек расплава соответственно; ω – частота вращения шнека; P – давление на выходе из шнека; η – средняя вязкость расплава; α , β , γ – постоянные коэффициенты, зависящие от геометрических параметров шнека [7].

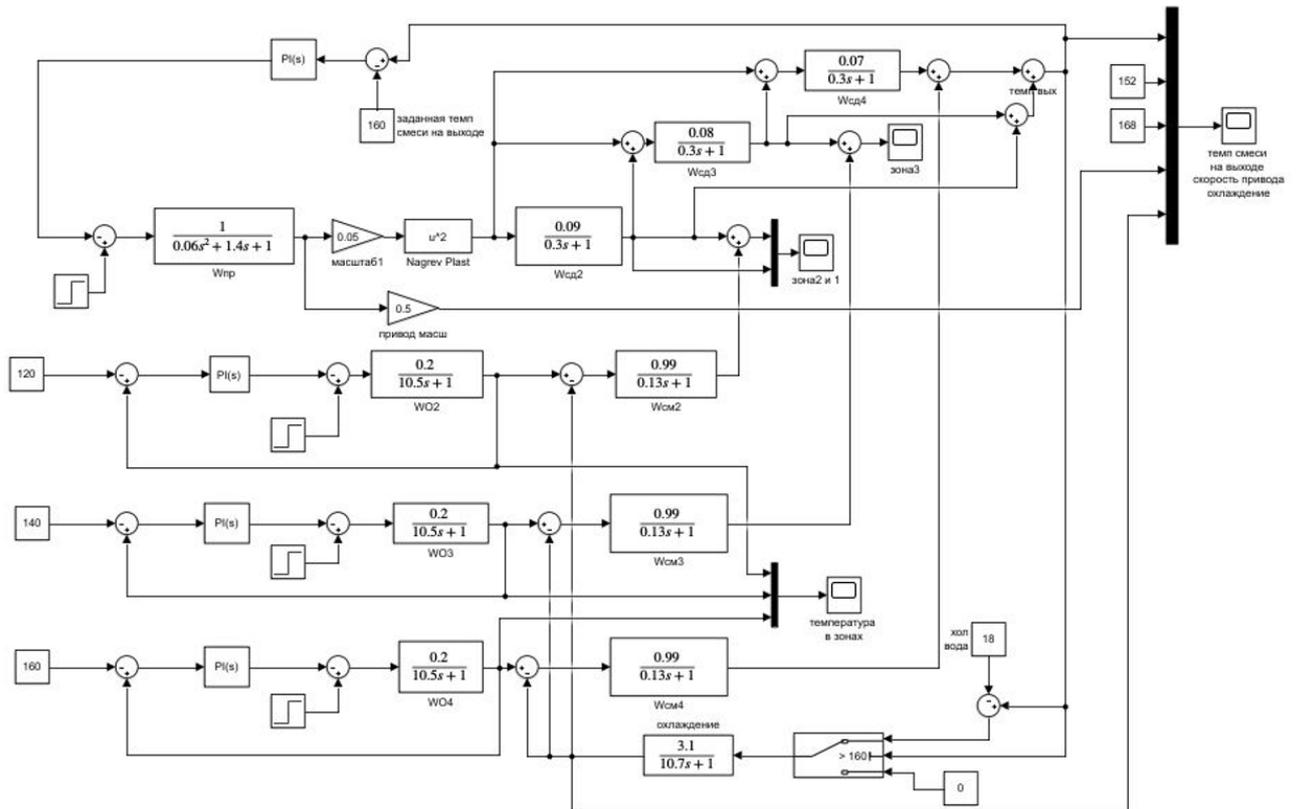


Рис. 1. – Структурная схема управления процессом экструзии без контроля давления в формующей головке

Что касается формующей головки, то количество расплава на выходе из нее можно представить следующим соотношением:

$$Q_{гол} = K \frac{\Delta P}{\eta}$$

где $\Delta P = P - P_{вых}$ – перепад давления в головке (здесь P – давление на входе в головку, $P_{вых}$ – давление на выходе из головки); η – вязкость расплава в головке; K – постоянная, характеризующая сопротивление течению расплава в каналах и формующей части головки [8].

Значение эффективной вязкости зависит от температуры расплава и рассчитывается по следующим формулам:

$$\lg \eta = -A \lg \gamma + B$$

где A , B - справочные коэффициенты, зависящие от температуры и вида перерабатываемого полимера; γ - скорость сдвига расплава полимера.

Скорость сдвига канала зависит от геометрии головки и для простейшего цилиндрического круглого канала равна:

$$\gamma = \frac{32Q}{\pi d^3}$$

где Q – производительность экструдера; d – диаметр цилиндрического канала [9].

В общем виде объемную производительность экструдера можно выразить как:

$$Q = \frac{A \cdot K}{K + B + C} \cdot n$$

где Q – объемная производительность экструдера; K – коэффициент сопротивления головки; A – постоянная прямого потока для шнека с постоянными геометрическими размерами; B – постоянная обратного потока для шнека с постоянными геометрическими размерами; C – постоянная потока утечек для шнека с постоянными геометрическими размерами; n – частота вращения шнека [10].

Из приведенных выше формул видно, что эффективная вязкость является функцией частоты вращения шнека и в значительной мере зависит от температуры расплава.

На рис. 2 наглядно показана сложность пуска наладки экструдера без контроля давления в формующей головке на примере наполненного полипропилена. Из-за нестабильного давления расплав при выходе из формующей головки закручивается, что делает невозможным дальнейшее

получение каких-либо изделий на его основе. На последнем фото представлен стабилизировавшийся спустя долгое время расплав. Из конкретного примера видно, что ускорение и оптимизация процесса пуска наладки экструдера имеет огромное значение, так как зачастую на данную операцию может уходить вплоть до смены рабочего времени. Такое обстоятельство без сомнения оказывает негативное влияние на экономическую эффективность и планирование производства.

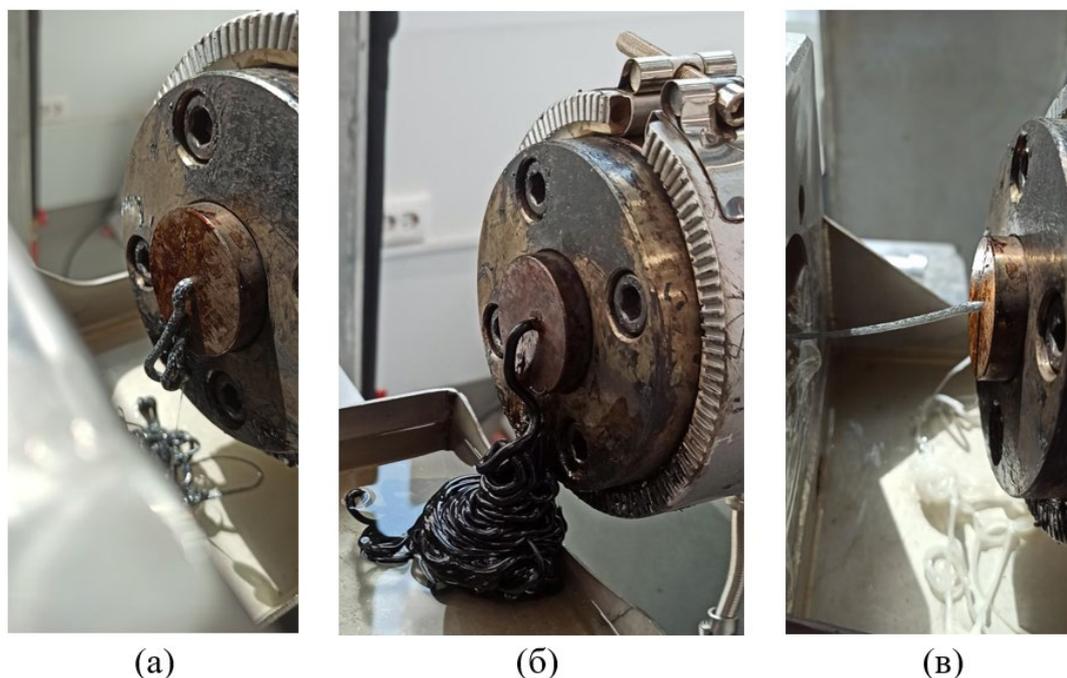


Рис. 2. – Пусконаладка экструдера: (а) пульсация и закручивание расплава полимера; (б) сбрасывание расплава полимера; (в) стабилизировавшийся поток расплава.

Таким образом, на основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1) для того, чтобы свести к минимуму время затрачиваемое на пусконаладку экструзионной линии, а также иметь возможность изменения технологических параметров процесса без потери его устойчивости, полезно иметь систему автоматического управления, в состав которой входил бы контур управления давлением в формирующей головке и которая была бы

способна в кратчайшие сроки стабилизировать давление расплава и вывести процесс на установившийся режим.

2) для обеспечения постоянства физико-механических характеристик выпускаемых изделий и производства продукции удовлетворительного качества особенно необходимо в процессе экструзии вести контроль давления расплава. Стабильность давления расплава в формующей головке обеспечивает должное качество поверхности выпускаемых изделий, а также выдержку заданных геометрических размеров. Также стоит отметить, что несмотря на приемлемый внешний вид и соответствие требуемым габаритам, свойства внутри, на срезе выпускаемых изделий могут сильно отличаться от заявленных.

3) для организации более эффективного управления процессом экструзии важно учитывать зависимость давления в формующей головке от вязкотекучих характеристик перерабатываемых полимеров, которые в свою очередь могут существенно варьироваться при изменении частоты вращения шнека и температуры расплава.

Литература

1. Володин В.П. Экструзия пластмассовых труб и профилей. СПб.: ЦОП “Профессия”, 2010. 256 с.

2. Rauwendaal, C. Polymer extrusion. München; Vienna; New York: Hanser, 1986. 568 p.

3. Г. П. Андрианова, К. А. Полякова, А. С. Фильчиков, Ю. С. Матвеев. Химия и технология полимерных пленочных материалов и искусственной кожи: Учеб. для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1990. 304 с.

4. Кудрявцева З.А., Ермолаева Е.В. Проектирование производств по переработке пластмасс методом экструзии: Учеб. пособие к выполнению курсового и дипломного проектов. Владимир, 2003. 96 с.

5. Яворский Ю.И., Власенко О.М. Разработка автоматизированной системы управления процессом экструзии. Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности: сборник материалов Международной научной студенческой конференции. Часть 3. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2019. – С.152-157.

6. Яворский Ю.И., Власенко О.М. Разработка автоматизированной системы управления процессом экструзии. Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Международной научной студенческой конференции. Часть 4. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2020. - С.136 – 139.

7. Ким, В.С. Теория и практика экструзии полимеров: учеб. и учеб. пособия для вузов. М.: Химия, Колос, 2005. 568 с.

8. Bernhardt, E. C. Processing of thermoplastic materials. New York: Reinhold, 1959. 681 p.

9. Басов, Н.И. Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов: Учеб. для вузов. М.: Химия, 1991. 352 с.

10. Литвинец Ю.И. Технологические и энергетические расчеты при переработке полимеров экструзией. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2010. 56 с.

References

1. Volodin V.P. Ekstruziya plastmassovykh trub i profiley [Extrusion of plastic tubes and profiles]. SPb.: TsOP “Professiya”, 2010. 256 p.

2. Rauwendaal, C. Polymer extrusion. München; Vienna; New York: Hanser, 1986. 568 p.

3. G. P. Andrianova, K. A. Polyakova, A. S. Fil'chikov, Yu. S. Matveev. Khimiya i tekhnologiya polimernykh plenochnykh materialov i iskusstvennoy

kozhi [Chemistry and technology of polymer film materials and artificial leather]: Ucheb. dlya vuzov. M.: Legprombytizdat, 1990. 304 p.

4. Kudryavtseva Z.A., Ermolaeva E.V. Proektirovanie proizvodstv po pererabotke plastmass metodom ekstruzii [Designing of manufacturing for recycling of plastics with extrusion method]: Ucheb. posobie k vypolneniyu kursovogo i diplomnogo proektov. Vladimir, 2003. 96 p.

5. Yavorskiy Yu.I., Vlasenko O.M. Innovatsionnoe razvitie legkoy i tekstil'noy promyshlennosti: sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy studencheskoy konferentsii. Chast' 3. M.: FGBOU VO «RGU im. A.N. Kosygina», 2019. – pp.152-157.

6. Yavorskiy Yu.I., Vlasenko O.M. Innovatsionnoe razvitie tekhniki i tekhnologiy v promyshlennosti: sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy studencheskoy konferentsii. Chast' 4. M.: FGBOU VO «RGU im. A.N. Kosygina», 2020. pp.136 – 139.

7. Kim, V.S. Teoriya i praktika ekstruzii polimerov [Theory and practice of polymer extrusion]: ucheb. i ucheb. posobiya dlya vuzov. M.: Khimiya, Kolos, 2005. 568 p.

8. Bernhardt, E. C. Processing of thermoplastic materials. New York: Reinhold, 1959. 681 p.

9. Basov, N.I. Raschet i konstruirovaniye formuyushchego instrumenta dlya izgotovleniya izdeliy iz polimernykh materialov [Calculation and construction of forming tool for production of polymer products]: Ucheb. dlya vuzov. M.: Khimiya, 1991. 352 p.

10. Litvinets Yu.I. Tekhnologicheskie i energeticheskie raschety pri pererabotke polimerov ekstruziey [Technological and energy calculations in polymer extrusion recycling]. Ekaterinburg: Izd-vo UGLTU, 2010. 56 p.

Дата поступления: 8.04.25

Дата публикации: 25.05.25
