

УДК 678.058:539.4

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭКСТРУДАТА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

**М.В. Соколов, А.А. Букин**

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»*

*Рецензент В.Г. Однолько по представлению С.И. Дворецкого*

**Ключевые слова и фразы:** изменение размеров экструдата; степень подвулканизации; суммарная величина сдвига; технологическая мощность; шнековая машина.

**Аннотация:** Рассмотрены теоретические основы определения суммарной величины сдвига при переработке резиновых смесей в шнековых машинах и формующих каналах экструзионных головок. Проведены экспериментальные исследования по оценке изменения размеров поперечного сечения экструдата при различных значениях суммарной величины сдвига.

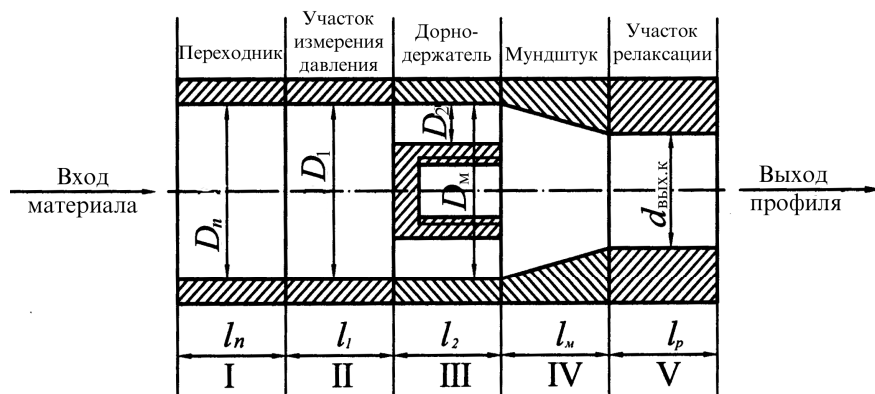
Одним из самых распространенных методов переработки полимерных материалов является экструзия. Приблизительно 30 % всех пластических масс и резиновых смесей перерабатывается экструзией через формующие головки с образованием изделий различного профиля.

В современных условиях экономического развития для успешного проектирования конкурентоспособного экструзионного оборудования и формующих головок к ним необходимо учитывать соотношение цены и качества изделий, которое удовлетворило бы потребителя.

Существует несколько проблем при производстве профильных изделий из полимерных материалов. В первую очередь, это проблема брака в изделиях при переработке резиновых смесей за счет подвулканизации и термодеструкции в формующих каналах экструзионных головок. Подвулканизация (термодеструкция) является негативным фактором, влияющим на качество получаемых изделий, и приводит к большим затратам энергии на продавливание через формующие каналы (рис.1).

---

Соколов М.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТГТУ; Букин А.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТГТУ;



**Рис. 1** Компоновка формирующих каналов экструзионной головки:  
 I, II, V – цилиндрический; III – три канала произвольной формы; IV – конический

Другим негативным фактором, влияющим на качество изделий, является изменение размеров поперечного сечения экструдата на выходе из оформляющего канала формирующего инструмента – «разбухание».

Существует несколько способов решения этой проблемы. Первый – подвергнуть изделие на выходе из формирующего канала дополнительной деформации, т.е. последующей вытяжке, каландрованию и т.п.

Второй способ заключается в экспериментальном определении режимов переработки и геометрии формирующих каналов для изделия заданного профиля при переработке конкретного полимерного материала. Известно, что для всех исследованных полимерных материалов, скоростей экструзии и температур переработки характерно снижение «разбухания» с повышением длины канала формирующего инструмента. При конструировании формирующих каналов необходимо знать величину относительной длины формирующего инструмента (отношение длины к зазору), выше которого «разбухание», достигнув минимума, остается практически постоянным. С уменьшением отношения внутреннего размера заготовки к наружному ее размеру (или отношения наружного диаметра дорна к внутреннему диаметру мундштука) наблюдается увеличение «разбухания», которое достигает максимума при заготовке в виде сплошного прутка [1].

На кафедре «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТГТУ отработан режим экструзии резиновой смеси НО-68-1 на базе экспериментальной установки при заданной производительности, и получены значения: частоты вращения шнека, технологической мощности и геометрических параметров формирующих каналов с учетом изменения размеров экструдата на выходе из формирующего канала [2].

Целью экспериментов было определить такой режим экструзии и выбрать конструкцию формирующего инструмента, чтобы в исследуемом материале не возникало «разбухания», то есть относительное изменение диаметров экструдата (отношение диаметра мундштука к диаметру заготовки) было минимальным при максимальной производительности.

Относительное изменение диаметра экструдата  $\delta$  (рис. 2, кривые □ и ■) возрастает в пределах  $n = 10 \dots 50$  об/мин и убывает в пределах

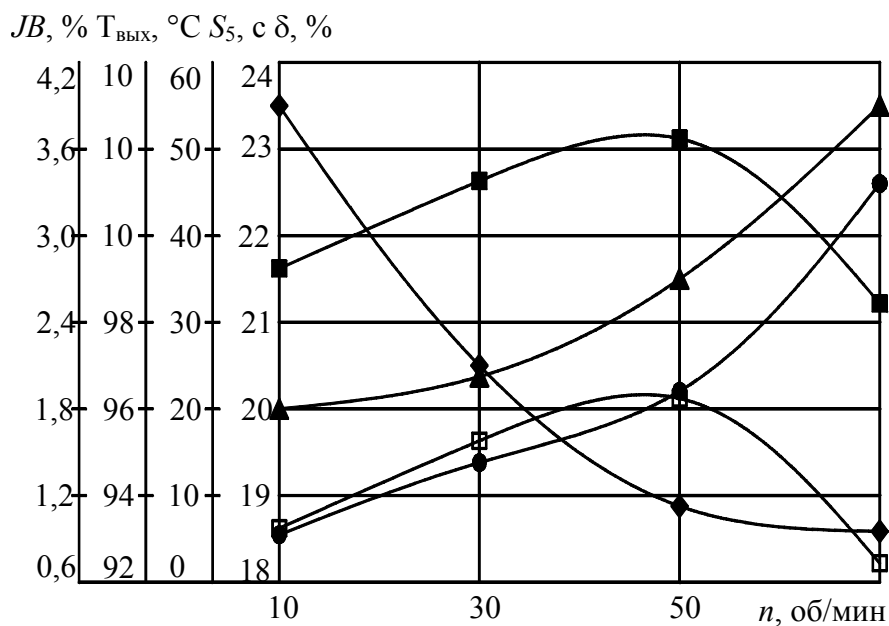


Рис. 2 Зависимость относительного изменения диаметра экструдата  $\delta$  до ( $\square$ ) и после ( $\blacksquare$ ) охлаждения экструдата, скорости сдвига в пятом канале  $S_5$  ( $\bullet$ ), температуры  $T_{\text{вых}}$  ( $\blacktriangle$ ) на выходе из экструзионной головки, критерия подвулканизации  $JB$  ( $\blacklozenge$ ) от частоты вращения  $n$  при диаметре выходного канала мундштука  $d_{\text{вых.к}} = 0,01$  м

$n = 50 \dots 70$  об/мин. Это можно объяснить тем, что наряду с напряжениями сдвига действуют еще и температурные напряжения, а при увеличении температуры снижается вязкость перерабатываемого материала, процесс релаксации ускоряется, что приводит к уменьшению относительного изменения диаметра экструдата  $\delta$ .

Также видно что, относительное изменение диаметра экструдата  $\delta$  после охлаждения составляет 80...95 % от общего значения относительного изменения диаметра.

В результате проведения ряда экспериментов на специально спроектированной и изготовленной экспериментальной установке [3] режимы процесса экструзии определялись при переработке крупнотоннажной резиновой смеси шифра НО-68-1, для которой реологические константы при температуре входа в материальный цилиндр  $T_{\text{см. вх}} = 50$  °C:  $m_0 = 600000$  Па·с<sup>*nr*</sup>,  $nr = 0,2$ ; теплоемкость –  $c = 2100$  Дж/(кг·°C); плотность –  $\rho = 1200$  кг/м<sup>3</sup>; теплопроводность –  $\lambda = 0,22$  Дж/(кг·°C). Получены зависимости (см. рис. 2 и 3), исходя из которых выбран режим экструзии резиновой смеси.

При диаметре выходного канала мундштука  $d_{\text{вых}} = 0,01$  м, длине нарезной части шнека  $L = 0,325$  м, диаметре шнека  $D = 0,032$  м, наклоне его нарезки  $\varphi = 17^\circ$ , глубине винтового канала  $h = 0,004$  м, ширине гребня  $e = 0,0035$  м, шаге винтовой нарезки  $t = 0,032$  м, зазоре между гребнем шнека и внутренней поверхностью материального цилиндра  $\delta = 0,002$  м, температуре материального цилиндра  $T_{\text{ц}} = 80$  °C выбираем: частоту вращения 50 об/мин, так как при больших частотах вращения шнека идет

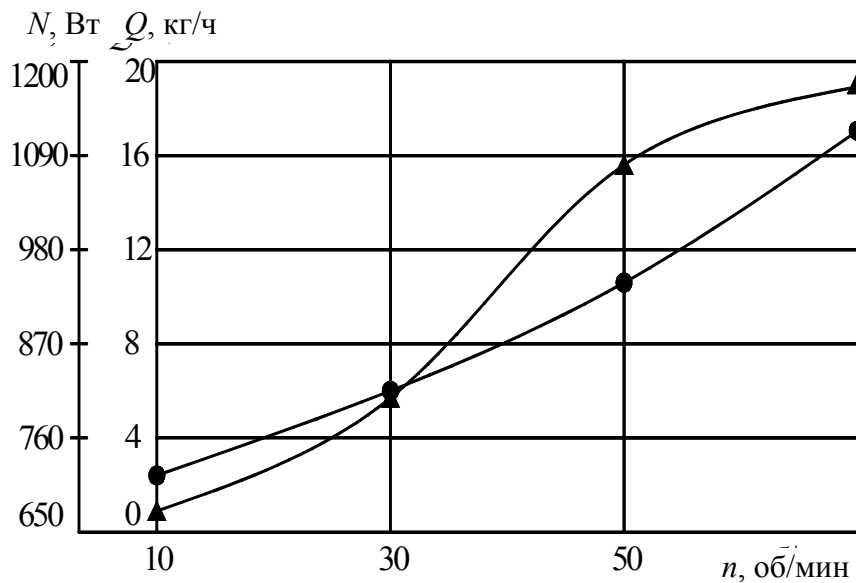


Рис. 3 Зависимость технологической мощности  $N$  (▲) и производительности  $Q$  (●) от частоты вращения  $n$  при диаметре выходного канала мундштука  $d_{\text{вых.к}} = 0,01$  м

проскальзывание материала и рост температуры, что приводит к резкому снижению относительного увеличения диаметра экструдата (см. рис. 2, 3).

Третий способ заключается в определении степени пластичности материала. Степень пластичности, в свою очередь, можно учитывать с помощью суммарной величины сдвига  $\gamma$ , которая представляет собой функцию различных конструктивных параметров шнека, формирующих каналов экструзионной головки и технологических параметров процесса содержащихся в математической модели экструзии резиновых смесей [4].

Суммарная величина сдвига в каналах шнека определяется следующим образом

$$\gamma = \dot{\gamma}_p \tau,$$

где  $\dot{\gamma}_p$  – расчетная скорость сдвига в каналах шнека,  $\text{с}^{-1}$  [5];

$$\dot{\gamma}_p = \frac{\pi D n \left( \frac{1}{nr} + 1 \right)}{60h},$$

$\tau$  – время пребывания перерабатываемого материала в материальном цилиндре, с:

$$\tau = \frac{WhL}{Q \sin \varphi},$$

$W = (t - e) \cos \varphi$  – ширина винтового канала шнека, м;  $Q$  – производительность шнековой машины,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Суммарная величина сдвига в формирующих каналах определяется следующим образом

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \gamma_i,$$

где  $\gamma_i = \dot{\gamma}_i \tau_i$ ;  $\tau_i = \frac{F_i l_i}{Q_i}$ ;  $\gamma_i$  – суммарная величина сдвига;  $\dot{\gamma}_i$ ,  $\tau_i$  – сдвиг, скорость сдвига, время пребывания перерабатываемого материала в  $i$ -ом канале, соответственно;  $F_i$ ,  $l_i$  – площадь поперечного сечения и длина  $i$ -о канала, соответственно.

На рис. 4 показан сравнительный анализ расчетного значения суммарной величины сдвига для выходного канала (см. рис. 1, участок V), имеющего различные значения диаметров выходного канала  $d_{\text{вых.к}}$  при заданной производительности экструдера ( $Q = 6,2$  кг/ч) и постоянном значении суммарной величины сдвига в каналах шнека  $\gamma = 3630$ .

Из рис. 4 видно, что уменьшению относительного изменения диаметра экструдата  $\delta$  соответствует уменьшение суммарной величины сдвига  $\gamma$  и скорости сдвига в выходном канале экструзионной головки  $S_5$ .

Подобные исследования проводились для различных производительностей экструдера, где наблюдалась такая же тенденция изменения суммарной величины сдвига  $\gamma$  и скорости сдвига в выходном канале экструзионной головки  $S_5$ .

Для успешного конструирования шнековых машин, формирующих каналов экструзионных головок и разработке новых технологических процессов переработки резиновых смесей большое значение имеет количественная оценка параметров качества, таких как: степень пластикации (суммарная величина сдвига), степень подвулканизации, которые косвенно связаны с физико-механическими показателями РТИ.

Поэтому, необходимо для конкретной резиновой смеси определить суммарную величину сдвига  $\gamma$ , состоящую из величин сдвига в каналах

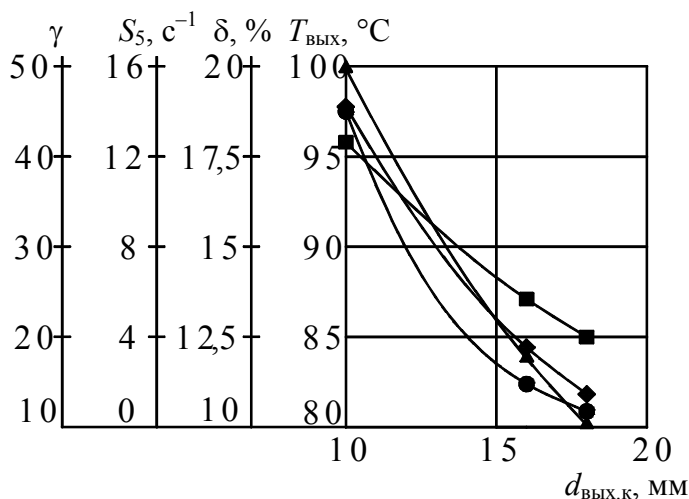


Рис. 4 Зависимость суммарной величины сдвига  $\gamma$  ( $\blacklozenge$ ), скорости сдвига в выходном канале  $S_5$  ( $\bullet$ ), относительного изменения диаметра экструдата после охлаждения  $\delta$  ( $\blacktriangle$ ), температуры экструдата на выходе из формирующего канала  $T_{\text{вых}}$  ( $\blacksquare$ ) от диаметра выходного канала мунштука  $d_{\text{вых.к}}$

шнека и экструзионной головки, соответствующую наилучшим физико-механическим показателям РТИ и наименьшим изменениям размеров получаемых профилей из резиновых смесей.

При определении суммарной величины сдвига  $\gamma$  принималось допущение, что в перерабатываемом материале отсутствует или имеет место малое значение подвулканизации, которое определяется по критерию Бейли [4, 6].

Данный способ прогнозирования качества экструдата особенно эффективен при производстве профилей из резиновых смесей, с последующей непрерывной вулканизацией длинномерных резинотехнических изделий (например, в ваннах с расплавом солей или в псевдоожиге слое).

#### *Список литературы*

1 Басов, Н.И. Оборудование для производства объемных изделий из термопластов / Н.И. Басов, В.К. Ким, В.К. Скуратов. – М. : Машиностроение, 1972. – 272 с.

2 Соколов, М.В. Переработка резиновых смесей с учетом подвулканизации и «разбухания» экструдата / М.В. Соколов, Д.В. Туляков, К.С. Кириллов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько // Прогрессивные технологии развития : сборник материалов международной научно-практической конференции. – Тамбов : Першина, 2005. – С. 345-347.

3 Соколов, М.В. Расчет процесса и оборудования экструзии резиновых смесей при заданном качестве экструдата / М.В. Соколов, П.С. Беляев, А.С. Клинков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9. – № 3. – С. 430-433.

4 Кочетов, В.И. Определение оптимальных технологических и конструктивных параметров червячных машин для переработки эластомеров / В.И. Кочетов, А.С. Клинков, М.В. Соколов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2000. – № 8. – С. 15-16.

5 Торнер, Р.В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р.В. Торнер. – М. : Химия, 1977. – 463 с.

6 Бекин, Н.Г. Расчет технологических параметров и оборудования для переработки резиновых смесей в изделия / Н.Г. Бекин. – Л. : Химия, 1987. – 272 с.

---

### **Forecasting Extrudate Quality when Processing Rubber Mixtures**

**M.V. Sokolov, A.A. Bukin**

*Tambov State Technical University*

**Key words and phrases:** extrudate size measurement; the degree of pre-vulcanization; total shift value; production power; auger conveyor.

**Abstract:** Theoretical grounds for determination of total shift value during processing of rubber mixtures in auger conveyors and molding canals of die heads are studied. Experimental research into evaluation of size changing of extrudate cross section under different values of total shift is implemented.

---

© М.В. Соколов, А.А. Букин, 2006