

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВАЛКОВО-ШНЕКОВЫМ МЕТОДОМ

А.С. Клинков, М.В. Соколов, Д.Л. Полушкин,  
И.В. Шашков, П.С. Беляев, Д.В. Туляков

*Кафедра «Переработка полимеров и упаковочное производство»,  
ГОУ ВПО «ТГТУ»*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** изменение размеров экструдата; отходы термопластов; резиновая смесь; степень подвулканизации и пластикации; суммарная величина сдвига; шнековая и валковая машины.

**Аннотация:** Рассмотрены теоретические основы определения суммарной величины сдвига при переработке полимерных материалов на валковых, шнековых машинах и формирующих каналах экструзионных головок. Проведены экспериментальные исследования по оценке изменения размеров поперечного сечения экструдата, и определены рациональные значения суммарных величин сдвига в каналах шнека, в каналах формирующей головки и при вальцевании, соответствующие заданным показателям качества заготовок из полимерных материалов.

---

### Введение

На кафедре ПП и УП разработана методика оценки и прогнозирования качества заготовок и изделий из полимерных материалов при их переработке в шнековых и валковых машинах, которая позволяет проектировать формирующие каналы экструзионных головок, шнековые и валковые машины.

#### 1. Применение интегральных критериев качества при производстве длинномерных профильных резинотехнических заготовок

Важное место в переработке полимерных материалов занимают профильные длинномерные резинотехнические изделия (РТИ), например, уплотнительные шнуры сплошного и сложного сечений, массовое производство которых характеризуется повышенными требованиями к качеству длинномерных профильных резинотехнических заготовок (РТЗ), в том числе, к размерам их профиля.

На современном этапе развития производства поиск рациональных режимов производства длинномерных профильных РТЗ осуществляется опытным путем, что в условиях расширения номенклатуры данных РТИ и применяемых новых рецептур резиновых смесей ведет к существенному возрастанию объема экспериментальных исследований, их стоимости и затрат времени. Вместе с тем, проведенные исследования [1] показывают, что качество длинномерных профильных РТЗ в общем процессе их производства, включающем приготовление резиновой смеси в резиносмесителе, последующее вальцевание для придания ей формы с целью питания червячной машины и экструзию профильных заготовок, определяется величиной суммарного сдвига, которому подвергается материал в процессе его переработки:

$$\gamma = \gamma_{pc} + \gamma_B + \gamma_{ш} + \gamma_{\phi} \quad (1)$$

где  $\gamma_{pc}$  – суммарный сдвиг в резиномесителе роторного типа, значение которого (рациональное) определено в пределах 1400...1600 для наилучшего качества смешения [1];  $\gamma_{ш}, \gamma_{\phi}, \gamma_{в}$  – значения величин суммарного сдвига в каналах шнека, в каналах формующей головки и при вальцевании соответственно.

Суммарная величина сдвига в резиномесителе

$$\gamma_{pc} = \dot{\gamma}_{pc} \tau_{pc},$$

где  $\dot{\gamma}_{pc}$  – средняя скорость сдвига в резиномесителе,  $c^{-1}$ ,  $\tau_{pc}$  – время смешения в резиномесителе, с.

Суммарная величина сдвига в каналах шнека  $\gamma_{ш} = \dot{\gamma}_p \tau_{ш}$ , где  $\dot{\gamma}_p$  – расчетная скорость сдвига в каналах шнека,  $c^{-1}$  [1],

$$\dot{\gamma}_p = \frac{0,5D\omega\left(\frac{1}{n}+1\right)}{h};$$

$\tau_{ш}$  – время пребывания перерабатываемого материала в цилиндре пластикации, с,

$$\tau_{ш} = \frac{BhL}{Q \sin \varphi};$$

где  $D$  – диаметр шнека, м;  $\omega$  – угловая скорость шнека,  $c^{-1}$ ;  $n$  – индекс течения резиновой смеси;  $h$  – глубина винтового канала шнека, м;  $t_{ш}$  – шаг винтовой нарезки шнека, м;  $B$  – ширина винтового канала шнека, м,  $B = (t_{ш} - e)\cos\varphi$ ;  $e$  – ширина витка шнека, м;  $L$  – длина нарезной части шнека, м;  $Q$  – производительность шнековой машины,  $m^3/c$ ;  $\varphi$  – угол наклона винтовой нарезки шнека.

Суммарная величина сдвига в каналах экструзионной головки определяется следующим образом:

$$\gamma_{\phi} = \sum_{i=1}^n \gamma_{\phi i},$$

где  $\gamma_{\phi i} = \dot{\gamma}_i \tau_{\phi i}$ ;  $\tau_{\phi i} = \frac{F_i l_i}{Q_i}$ ;  $\gamma_{\phi i}$ ,  $\dot{\gamma}_i$ ,  $\tau_{\phi i}$  – сдвиг, скорость сдвига, время пребывания перерабатываемого материала в  $i$ -м канале соответственно;  $F_i$ ,  $l_i$ ,  $Q_i$  – площадь поперечного сечения, длина и производительность  $i$ -го канала соответственно.

Для определения суммарной величины  $\gamma_{в}$  сдвига при непрерывном режиме вальцевания резиновых смесей – по длине зоны деформации (ось  $X$ ) и вдоль оси валков вальцов (ось  $Z$ ) (непрерывный режим работы валкового оборудования) – сделаны следующие допущения: разбиваем длину валка на множество элементарных участков  $z_j$  (рис. 1), каждый из которых соответствует  $j$ -му проходу. Средняя деформация сдвига (сдвиг), реализуемая за один проход при вальцевании [1]

$$\begin{aligned} \tilde{\gamma}_x = & \left\{ 1,5 \left[ \left( 1 - X_K^2 \right) \arctg \frac{X_K - X_H}{1 - X_H X_K} + \frac{1 + X_K^2 X_H}{1 + X_H^2} - X_K^2 \right] \frac{1 - \lambda}{1 - \lambda(1 + X_K^2)} + \right. \\ & \left. + \frac{1 - 2\lambda^2(1 + X_K^2)}{2(1 + X_K^2)[1 - \lambda^2(1 + X_K^2)]} \left( \frac{X_K}{1 + X_K^2} - \frac{X_H}{1 + X_H^2} + \arctg \frac{X_K - X_H}{1 - X_H X_K} \right) \right\} \times \\ & \times \left[ 2,8 h_{02} l_B (1 + X_K^2) (X_K - X_H) \right]^{-1}, \end{aligned} \quad (2)$$

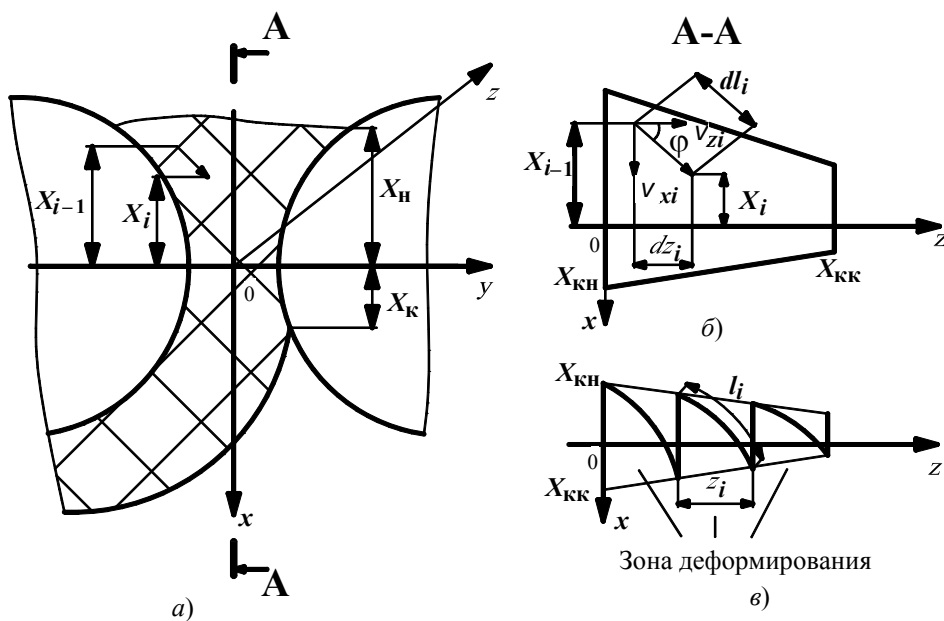


Рис. 1. К расчету суммарного сдвига при вальцевании  $\gamma_B$ :

*a* – зона деформации в межвалковом зазоре;

*б* – распределение резиновой смеси в межвалковом зазоре по длине валка;

*в* – циклограмма движения резиновой смеси в межвалковом зазоре вдоль оси *Z*

где

$$X_H = \frac{x_H}{\sqrt{2Rh_{02}}}, \quad X_K = \frac{x_K}{\sqrt{2Rh_{02}}}, \quad (3)$$

$X_H, X_K$  – безразмерные координаты сечения входа и выхода соответственно;  $x_H$  – величина координаты сечения входа, м;  $x_K$  – величина координаты сечения выхода, м;  $R$  – радиус валка, м;  $h_{02}$  – половина величины зазора между валками, м;  $\lambda$  – безразмерный параметр, учитывающий разницу окружных скоростей валков вальцов,  $\lambda = (U_1 - U_2) / 2U_0$ ;  $U_2$  – окружная скорость заднего валка, м/с;  $U_1$  – окружная скорость переднего валка, м/с;  $U_0$  – среднее значение окружной скорости валков,  $U_0 = (U_1 + U_2) / 2$ .

Суммарную величину сдвига для процесса вальцевания определяем по формуле

$$\gamma_B = \sum_{j=1}^k \gamma_j,$$

где  $\gamma_j$  – величина сдвига за один проход при непрерывном вальцевании, которая определяется как величина сдвига при периодическом вальцевании  $\tilde{\gamma}_x$  по формуле (2) путем подстановки вместо  $l_B$  величины  $z_j$ , определяемой по формуле

$$z_j = \sum_{i=1}^n dz_i,$$

где  $dz_i = dl_i \cos \varphi_i$ ;  $tg \varphi_i = v_{xi}/v_{zi}$ ;  $v_{xi}$  – скорость течения материала вдоль оси  $X$ , определяемая по формуле (4);  $v_{zi}$  – скорость течения материала вдоль оси  $Z$ , определяется по формуле (5);  $\sum_{i=1}^n dl_i$  – путь, пройденный материалом за один проход в зоне деформирования (см. рис. 1);  $dl_i = (X_i - X_{i-1})/\sin \varphi_i$ ;  $k$  – число проходов, при котором  $\sum_{j=1}^k z_j = l_B$ ;  $l_B$  – длина рабочей части валка, м.

$$v_{xi} = -\frac{U_0}{1+X^2} \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{Y}{H} \right)^2 (X^2 - X_k^2) + \frac{2-X^2+3X_k^2}{2} + \left( \frac{Y}{H} \right)^2 \lambda (1+X^2) \right]; \quad (4)$$

$$v_{zi} = \frac{3QW}{4h_{02}\sqrt{2Rh_0}}, \quad (5)$$

где величина  $W$  приближенно определяется по формуле

$$W = \frac{V_z 4h_0 \sqrt{2Rh_0}}{3Q},$$

а выражение, описывающее распределение скоростей частиц потока по длине валка вальцов, имеет вид [1]

$$W = (1+X^2) \left[ \left( \frac{Y}{H} \right)^2 - 1 \right] \frac{-\frac{2X^2(5+3X^2)}{(1+X^2)^2} - 6X_k \arctg X + A}{[A_1 + A_2 - A_3] \frac{X_k}{X_H}}, \quad (6)$$

где

$$A_1 = AX - 3,4X_k X^2 - AX^3 - 3,34X_k X^4; \quad A_2 = 0,6AX^5 - 0,86X_k X^6 + 0,143AX^7;$$

$$A_3 = 6X_k \left[ (X + X^3 + 0,6X^5 + 0,143X^7) \arctg X - 0,23 \ln(1+X^2) \right];$$

$$A = 6X_k \arctg X_k + \frac{2X_k^2(3X_k^2 + 5)}{(1+X_k^2)^2};$$

$$H = \frac{h}{\sqrt{2Rh_0}}, \quad Y = \frac{y}{\sqrt{2Rh_0}} \text{ – безразмерные координаты; } h \text{ – переменная величина}$$

межвалкового зазора;  $h_0$  – минимальное значение межвалкового зазора;  $y$  – текущая координата межвалкового зазора;  $Q$  – производительность валковой машины;  $V_z$  – компонента скорости материала вдоль оси  $Z$ .

Проведенные нами исследования [1] показывают, что существуют рациональные значения как суммарной величины сдвига  $\bar{\gamma}$ , так и ее составляющих в (1), которые могут быть использованы для проведения соответствующих расчетов с целью определения оптимальных значений режимных переменных и конструктивных параметров используемого оборудования [1, 2]. Для этого разработаны соответствующие алгоритмы и программные комплексы [3, 4].

Таким образом, технологические режимы и размеры соответствующего оборудования для новых изделий и шифров резиновых смесей могут быть определены экспериментальным путем с помощью рассчитанных рациональных значений суммарных величин сдвига при вальцевании  $\bar{\gamma}_в$ , в каналах материального цилиндра  $\bar{\gamma}_ш$  и в выходном канале экструзионной головки  $\bar{\gamma}_{вых.к}$ , сумма которых даст значение суммарной величины сдвига всего процесса производства длинномерных РТИ.

Для определения рациональных значений суммарной величины сдвига перерабатываемых резиновых смесей при вальцевании, обеспечивающих заданное их качество, спроектировано и изготовлено измерительное устройство (**ИУ1**) на базе вальцов ЛБ 80/80 200 [1].

С помощью разработанной программы на ЭВМ [1] определяем величину безразмерной координаты сечения входа в зоне загрузки  $X_{ин}$  для конкретного значения отношения радиуса вала к половине межвалкового зазора  $R/h_{02}$ , при которой достигается максимальное значение удельной мощности  $P$ , то есть максимальная сдвиговая деформация перерабатываемого материала.

Проведены экспериментальные исследования по определению технологических параметров процесса (частоты вращения валков, величины минимального зазора между валками, величины фрикции, величины «запаса» материала на валках), при которых достигаются максимальные физико-механические показатели пластика резиновой смеси (условная прочность и относительное удлинение при разрыве и пластичность), соответствующие рациональному значению интегрального критерия качества (суммарной величине сдвига при вальцевании).

В процессе экспериментальных исследований отбирали пробы резиновой смеси и проводили экспресс-контроль образцов на пластичность, относительное удлинение и условную прочность при разрыве.

Установлено, что качественные характеристики пластика непосредственно определяются суммарной величиной сдвига при вальцевании как в периодическом, так и непрерывном режимах работы вальцов. При этом установлено, что при непрерывном процессе время вальцевания примерно в 2 раза меньше, чем при периодическом (рис. 2). Это позволяет использовать суммарную величину сдвига при вальцевании как интегральную характеристику для расчета режимных переменных и конструктивных параметров вальцов. Исследования на других типоразмерах вальцов подтвердили это предположение.

На рис. 3 в качестве примера представлено сравнение условной прочности при разрыве  $f_p$ , а также пластичности Пл образцов из резиновой смеси НО-68НТА для различных типоразмеров вальцов. Расхождение не превышает 8 % в области максимальных значений  $f_p$ , Пл.

Проведенные исследования позволили подтвердить возможность применения предлагаемой методики исследования и эффективность разработанных алгоритмов расчетов на ЭВМ.

Для определения рациональных значений суммарной величины сдвига перерабатываемых резиновых смесей, обеспечивающих заданное качество длинномерных профильных РТЗ, спроектировано и изготовлено специальное измерительное устройство (**ИУ2**) на базе МЧХ-32/10 [2] для исследования процесса экструзии.

В результате экспериментальных исследований установлено, что при переработке конкретной резиновой смеси существует минимальное относительное

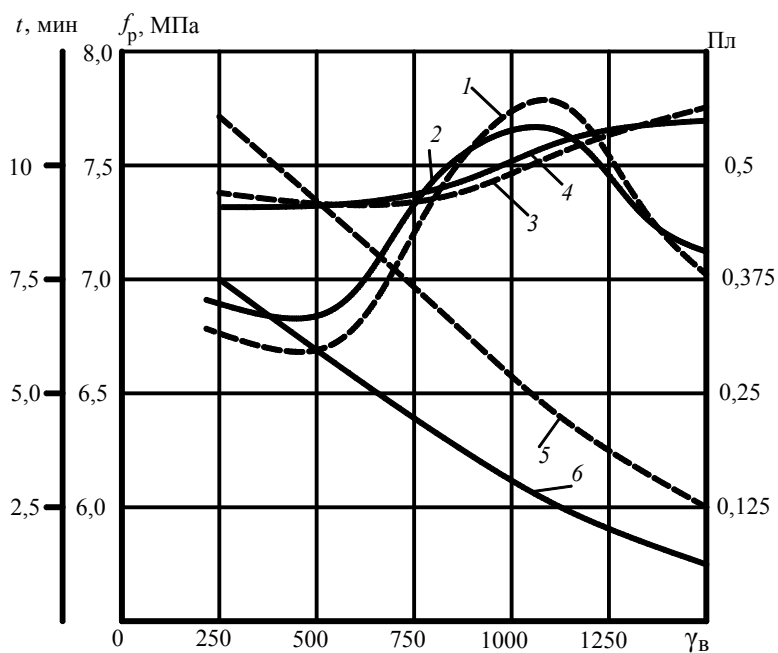


Рис. 2. Зависимость условной прочности при разрыве  $f_p$  (1, 2), пластичности Пл (3, 4) и времени пластикации  $t$  (5, 6) от суммарного сдвига  $\gamma_B$  при вальцевании для периодического (1, 3, 5) и непрерывного (2, 4, 6) режимов

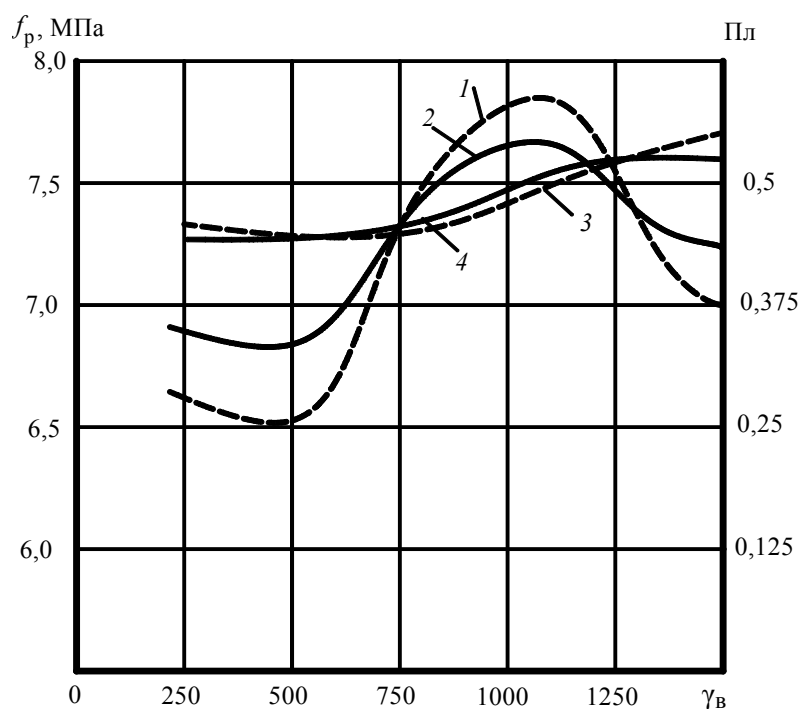


Рис. 3. Зависимости условной прочности при разрыве  $f_p$  (1, 2) и пластичности Пл (3, 4) от величины суммарного сдвига  $\gamma_B$  при вальцевании, полученные на ИУ1 (1, 3) и на промышленных вальцах СМ 320/320 550 (2, 4)

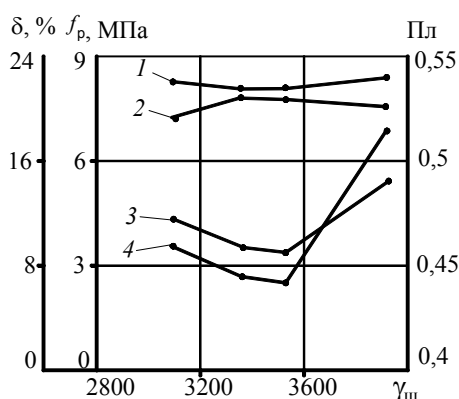


Рис. 4. Зависимость показателей качества (условной прочности при разрыве  $f_p$  (2), пластичности  $\text{Пл}$  (4) и относительного изменения поперечного сечения экструдата до  $\delta_0$  (1) и после  $\delta$  (3) охлаждения) от суммарного сдвига в каналах материального цилиндра  $\gamma_{ш}$

изменение  $\delta$  размеров поперечного сечения экструдата после охлаждения, соответствующее определенному значению суммарной величины сдвига в выходном канале экструзионной головки  $\bar{\gamma}_{\text{вых.к}}$ , в каналах шнека  $\bar{\gamma}_{ш}$  при заданном режиме экструзии и геометрии формующих каналов.

На рис. 4, 5 в качестве примера показаны зависимости показателей качества от суммарного сдвига в каналах шнека и в выходном канале экструзионной головки при переработке резиновой смеси шифра НО-68НТА, при этом  $\bar{\gamma}_{ш} = 3500$  (рис. 4) и  $\bar{\gamma}_{\text{вых.к}} = 95$  (рис. 5).

В табл. 1 в качестве примера приведены теплофизические, реологические и расчетные характеристики резиновых смесей шифров НО-68НТА, ИРП-6721, ИРП-3826, 46ПРФ-26, ис-

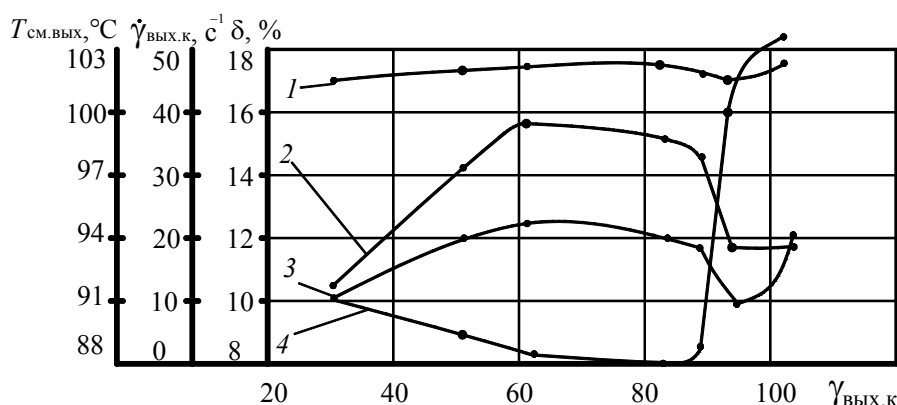


Рис. 5. Зависимости относительного изменения поперечного сечения экструдата до  $\delta_0$  (1) и после  $\delta$  (3) охлаждения, скорости сдвига в выходном канале экструзионной головки  $\dot{\gamma}_{\text{вых.к}}$  (2) и температуры смеси в выходном канале экструзионной головки  $T_{\text{см.вых}}$  (4) от величины сдвига в выходном канале экструзионной головки  $\gamma_{\text{вых.к}}$

Таблица 1

Теплофизические, реологические и расчетные параметры

Шифр смеси	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$	$m_0, \text{кПа}\cdot\text{с}^n$	$n$	$b$	$\bar{\gamma}_в$	$\bar{\gamma}_ш$	$\bar{\gamma}_{\text{вых.к}}$	$\delta, \%$
НО-68НТА	1200	0,22	2100	600	0,2	0,005	1220	3500	95	10
ИРП-6721	1250	0,21	1300	550	0,22	0,007	1440	3250	90	12
ИРП-3826	1280	0,21	1350	500	0,22	0,007	1420	3100	86	6
46ПРФ-26	1300	0,22	1800	450	0,23	0,008	1370	2950	82	5

пользующихся в производстве резинотехнических изделий в ЗАО «Тамбовполимермаш» и ОАО «АРТИ-Завод» г. Тамбова, а также найденные рациональные значения суммарных величин сдвига  $\bar{\gamma}_B$ ,  $\bar{\gamma}_{ш}$ ,  $\bar{\gamma}_{вых.к}$ , где  $m_0$ ,  $n$ ,  $\rho$ ,  $\lambda$ ,  $c$ ,  $b$  – соответственно, реологические константы, плотность, теплопроводность, теплоемкость, температурный коэффициент перерабатываемого материала при температуре  $T_{см.вх} = 50$  °С.

При разработке совмещенных процессов вальцевания и экструзии соотношение суммарных величин сдвига при вальцевании  $\gamma_B$  и экструзии  $\gamma_{ш.ф}$  с учетом каналов экструзионной головки определялось экспериментально:  $\gamma_{ш.ф} \approx K_\gamma \gamma_B$  с использованием разработанных измерительных устройств ИУ1 и ИУ2. Например, для резиновой смеси шифра НО-68НТА коэффициент приведения  $K_\gamma = 2,86$ , что соответствует максимальным показателям качества длинномерных профильных РТЗ.

Таким образом, созданные измерительные устройства, рекомендованные для применения в центральных заводских лабораториях производства РТИ, позволяют определять рациональные значения суммарной величины сдвига в межвалковом зазоре, каналах шнека и формирующих каналах экструзионной головки, соответствующие заданным физико-механическим показателям пластиката и длинномерных профильных РТЗ.

## 2. Применение интегрального критерия качества при переработке отходов термопластов

Утилизация твердых бытовых отходов (ТБО) в последние годы по праву является одним из приоритетных направлений техники и технологии РФ. Между тем, утилизация полимерных материалов связана с рядом сложностей, вызванных наличием у пластмасс специфических свойств. На кафедре «Переработка полимеров и упаковочное производство» ГОУ ВПО «ТГТУ» разработана технология валково-шнековой утилизации отходов полимерных материалов, и создан лабораторно-экспериментальный вариант валково-шнекового агрегата [5].

Установлено, что на качественные показатели получаемого вторичного материала (предел прочности, относительное удлинение при разрыве) определяющее влияние оказывает сдвиговая деформация, возникающая в рабочих органах валково-шнекового агрегата. Она зависит от различных конструктивных (геометрические размеры валково-шнекового агрегата) и технологических (частота вращения валков и шнека валково-шнекового агрегата, величина минимального зазора между валками, фрикции, «запас» материала на валках) параметров процесса вальцевания, экструзии и профилирования стренгов в формирующей головке.

Таким образом, была поставлена задача: определить комплексный интегральный критерий переработки материалов, определяющий качественные характеристики вторичного гранулята, величина которого может быть положена в основу при расчете конструктивных и технологических параметров агрегатов разной производительности.

Анализ литературных источников [6–9] показал, что в основу интегрального критерия качества может быть положена величина суммарной деформации сдвига, возникающая в зазорах перерабатывающих машин.

Величина суммарной деформации сдвига для валково-шнекового процесса гранулирования может быть представлена как сумма суммарных величин сдвига для непрерывного процесса вальцевания, процесса экструзии при отборе расплава полимера и суммарной величины сдвига, возникающей в формирующих каналах [10]:

$$\gamma_{вш} = \gamma_B + \gamma_{ш} + \gamma_{фк}, \quad (7)$$



где  $\gamma_{в}, \gamma_{ш}, \gamma_{фк}$  – суммарные величины сдвига для непрерывного процесса вальцевания [11], в каналах шнека и в формирующих каналах соответственно.

Величина суммарной деформации сдвига, возникающая в межвитковом пространстве отборочно-шнекового устройства может быть определена следующим образом:

$$\gamma_{ш} = \frac{L}{h} \frac{1}{1-\varphi} \left[ \frac{2F(a)}{3\cos\alpha} + \frac{G(a, \varphi)}{3\sin\alpha} \right], \quad (8)$$

где  $F(a)$ ,  $G(a, \varphi)$  – функции, определяющиеся выражениями

$$F(a) = \frac{(1-b)|1-3a| - b(1-3a^0)}{a(1-a) + b(a^0 - a)(1-a-a^0)}; \quad (9)$$

$$G(a, \varphi) = \frac{(1-b)|1-3\varphi + 6a\varphi| + b(1-3\varphi + 6a^0\varphi)}{a(1-a) + b(a^0 - a)(1-a-a^0)}, \quad (10)$$

где  $a$  – положение координаты в нижней области;  $a^0$  – положение координаты в верхней области, связанные соотношением

$$[a^2 - a^3] - [(a^0)^2 - (a^0)^3] = 0, \quad (11)$$

$$0 \leq a \leq \frac{2}{3} \text{ и } \frac{2}{3} \leq a^0 \leq 1; \quad (11a)$$

$b$  – время нахождения частицы в верхней части канала;  $\varphi$  – коэффициент дросселирования,

$$\varphi = \frac{h^2}{6\mu V_{cz}} \frac{\partial P}{\partial z}, \quad (12)$$

$\frac{\partial P}{\partial z}$  – градиент давления в направлении оси  $z$ ;  $V_{cz}$  – компонента вектора скорости стенки цилиндра в направлении оси  $z$ ;  $h$  – глубина нарезки шнека, м;  $\mu$  – вязкость, Па·с.

В итоге имеем для коэффициента дросселирования

$$\varphi = \frac{h^2 Q \sin \alpha}{6\pi D n K L \cos \alpha}, \quad (13)$$

где  $Q$  – производительность, м<sup>3</sup>/с;  $\alpha$  – угол подъема винтовой нарезки;  $D$  – диаметр шнека, м;  $n$  – частота вращения шнека, мин<sup>-1</sup>;  $K$  – коэффициент геометрической формы, м<sup>3</sup>;  $L$  – длина шнека, м.

Поскольку валково-шнековая утилизация отходов полимерных материалов – это технология совмещенных процессов вальцевания и экструзии, были проведены исследования на традиционных валковых и шнековых машинах по оценке влияния технологических параметров процесса и оборудования на свойства получаемого вторичного материала с учетом суммарной величины сдвига. Исследования проводились на полиэтилене низкой плотности марки 15803-020 при переработке на валковой машине ЛБ 80/80, лабораторном экструдере с диаметром червяка 20 мм и экструзионно-выдувном агрегате с диаметром червяка 32 мм.

На рис. 6, 7 представлены графические зависимости прочности при разрыве  $\sigma_p$  от величины суммарной деформации сдвига при переработке на традиционных

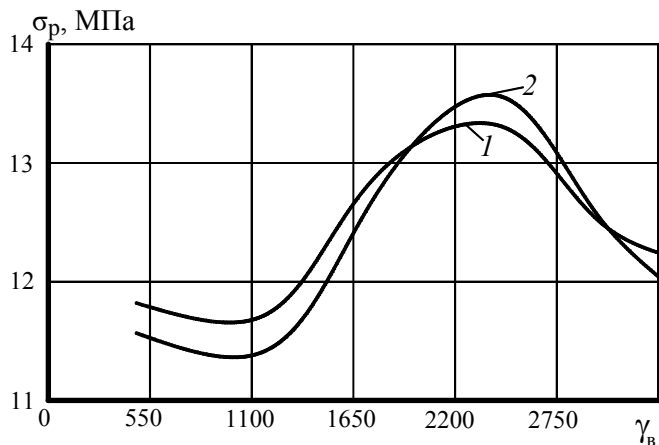


Рис. 6. Зависимость прочности при разрыве  $\sigma_p$  от величины суммарной деформации сдвига  $\gamma_v$  при непрерывном (1) и периодическом (2) режимах работы валцов

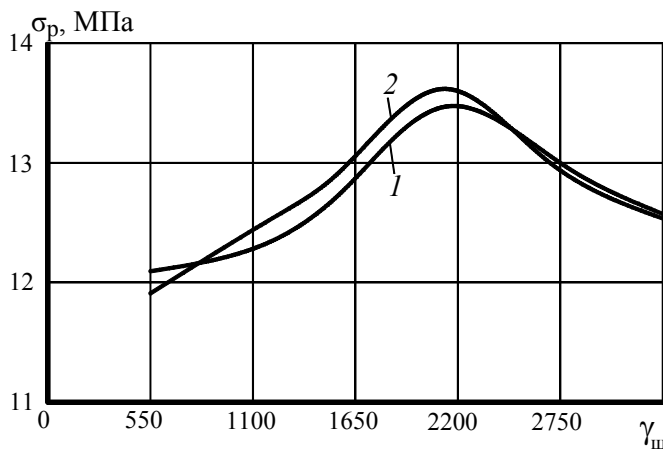


Рис. 7. Зависимость прочности при разрыве  $\sigma_p$  от величины суммарной деформации сдвига  $\gamma_{ш}$  при переработке на лабораторном экструдере с диаметром червяка 20 мм (1) и экструзионно-выдувном агрегате с диаметром червяка 32 мм (2)

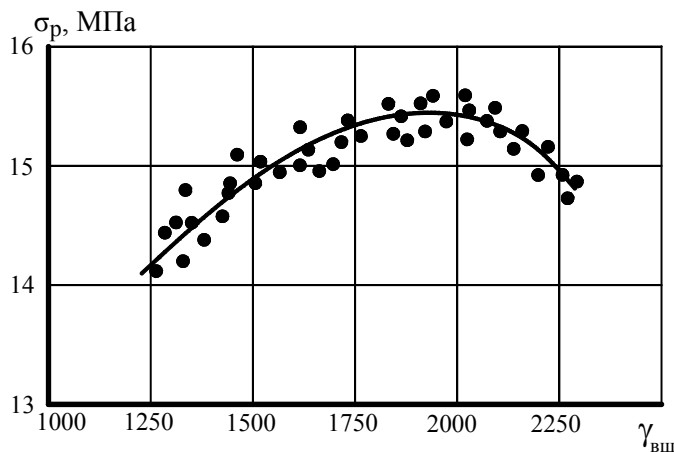


Рис. 8. Зависимость прочности при разрыве  $\sigma_p$  от величины суммарной деформации сдвига  $\gamma_{вш}$  при переработке термопластов на валково-шнековом агрегате

валковом и экструзионном оборудовании. Анализ зависимостей показывает, что наилучшие физико-механические показатели, в частности, прочность при разрыве  $\sigma_r$ , наблюдаются для величин суммарной деформации сдвига  $\gamma_v$  и  $\gamma_{ш}$ , находящихся в диапазоне 2100...2250.

На основании проведенных экспериментальных исследований и с учетом величины суммарной деформации сдвига (7) было спроектировано отборочно-шнековое устройство [12] и смоделирован технологический процесс утилизации термопластов на валково-шнековом агрегате, при котором может быть получен вторичный экструдат с наилучшими физико-механическими показателями.

В результате проведенных экспериментальных исследований на валково-шнековом агрегате получены графические зависимости (рис. 8), которые хорошо согласуются с зависимостями, полученными при переработке на традиционных валковых и шнековых машинах (см. рис. 6, 7).

Таким образом, достижение заданного значения величины суммарной деформации сдвига может быть положено в основу инженерной методики расчетов конструктивных и технологических параметров разработанного валково-шнекового агрегата.

#### *Список литературы*

1. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов : монография / А.С. Клинков [и др.] – М. : Машиностроение-1, 2005. – 320 с.
2. Проектирование экструзионных машин с учетом качества резинотехнических изделий : монография / М.В. Соколов [и др.] – М. : Машиностроение-1, 2007. – 292 с.
3. Свидетельство № 2006612171 об официальной регистрации программы для ЭВМ. Расчет суммарной величины сдвига при переработке термопластов на вальцах / Полушкин Д.Л., Соколов М.В., Шашков И.В., Клинков А.С., Беляев П.С. ; Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2006611436 ; заявл. 03.05.2006 ; зарегистрировано 22.06.2006.
4. Свидетельство № 2003611833 об официальной регистрации программы для ЭВМ. Расчет оптимальных технологических и конструктивных параметров экструзии резиновых смесей с учетом минимизации технологической мощности и получения качественного экструдата / М.В. Соколов, А.С. Клинков, В.И. Кочетов, П.С. Беляев; Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2003611300 ; заявл. 16.06.2003 ; зарегистрировано 04.08.2003.
5. Энергосберегающая технология переработки отходов полимерных материалов валково-шнековым способом / Д.Л. Полушкин [и др.]. – *Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского.* – 2008. – Т. 2, № 1 (11). – С. 137–141.
6. Мак-Келви, Д.М. Переработка полимеров / Д.М. Мак-Келви. – М. : Химия, 1965. – 442 с.
7. Бернхардт, Э. Переработка термопластичных материалов / Э. Бернхардт. – М. : Химия, 1965. – 747 с.
8. Торнер, Р.В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р.В. Торнер. – М. : Химия, 1977. – 464 с.
9. Ким, В.С. Теория и практика экструзии полимеров / В.С. Ким. – М. : Химия, КолосС, 2005. – 568 с.
10. Валково-шнековая технология вторичной переработки термопластов с заданным качеством / Д.Л. Полушкин [и др.] // *Теплофизика в энергосбережении и управлении качеством : материалы Шестой междунар. теплофиз. шк., Тамбов, 1–6 окт. 2007 г. В 2 ч. / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2007. – Ч. II. – С. 101–103.*

11. Полушкин, Д.Л. Анализ интегрального критерия качества полимеров на валковых машинах / Д.Л. Полушкин, А.С. Клинков, М.В. Соколов // *Фундаментальные и прикладные исследования, инновационные технологии, профессиональное образование* : сб. тр. XIII науч. конф. ТГТУ / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2008. – С. 106–109.

12. Пат. № 67017 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 29 В 7/64. Шнековое отборочное устройство / Полушкин Д.Л., Клинков А.С., Соколов М.В., Беляев П.С., Однолько В.Г. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2006106300 ; заявл. 28.02.06 ; опубл. 10.10.07, Бюл. № 28. – 2 с. : ил.

---

### **Application of Integral Criteria of Quality in Processing of Polymer Materials by Rolling-Screw Method**

A.S. Klinkov, M.V. Sokolov, D.L. Polushkin, I.V. Shashkov,  
P.S. Belyaev, D.V. Tulyakov

*Department "Processing of Polymers and Packaging", TSTU*

**Key words and phrases:** changing of extrudate size; rubber mixture; screw and rolling machine; thermoplasts waste products; total shift amount; the degree of sub-vulcanization and plasticization.

**Abstract:** The paper studies theoretical grounds of determining the total shift amount in processing of polymer materials on rolling and screw machines and molding channels of extrusion heads. The experimental research into evaluation of changing of cross section of extrudate size is carried out; rational values of total shift amounts in the screw channels, molding head channels during forge-rolling are determined; these correspond to the given parameters of quality for polymer materials.

---

### **Anwendung der Integralkriterien der Qualität bei der Überarbeitung der Polymerstoffe von der Walkschneckenmethode**

**Zusammenfassung:** Es sind die theoretischen Grundlagen der Bestimmung der Summargröße der Verschiebung bei der Überarbeitung der Polymerstoffe auf den Walkschneckenmaschinen und auf den formierenden Kanälen der Extrusionsköpfe betrachtet. Es sind die Experimentaluntersuchungen nach der Einschätzung der Veränderung der Größen des Extrudatquerschnitts durchgeführt und es sind die Rationalwerte der Summargrößen der Verschiebung in den Schneckenkanälen, in den Kanälen der formierenden Köpfe und bei dem Walzen bestimmt. Diese Werte entsprechen den gestellten Werten der Qualität der Werkstücke aus Polymermaterialien.

---

### **Application des critères intégrés de qualité lors du traitement des matériaux de polymère par la méthode de cylindre et de vis**

**Résumé:** Sont examinées les bases théoriques de la définition de la grandeur sommaire du décalage lors du traitement des matériaux de polymère par les machines de cylindre et de vis et dans les canaux des têtes de formage. Sont citées les études expérimentales sur l'évaluation du changement des dimensions de la section transversale de l'extrudeuse et sont définies les valeurs rationnelles des grandeurs sommairess du décalage dans les canaux de vis, dans les canaux des têtes de formage et lors du cylindrage correspondant aux indices de la qualité des ébauches à partir des matériaux de polymère.