

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
ПРОИЗВОДСТВА ДЛИННОМЕРНЫХ
РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ
ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА**

М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.Г. Однолько

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент В.Ф. Першин

Ключевые слова и фразы: интегральный критерий качества; минимизация энергозатрат; резиновая смесь.

Аннотация: Рассмотрены теоретические основы определения оптимальных режимных переменных и конструктивных параметров валкового и экструзионного оборудования для производства длинномерных резинотехнических изделий заданного качества.

Существует проблема нерационального использования оборудования с точки зрения значительных энергозатрат (15...40 % себестоимости резинотехнических изделий) на пластикацию перерабатываемого материала при вальцевании, ухудшения физико-механических показателей экструдата и брака изделий за счет термодеструкции и изменения размеров их поперечного сечения при изменении режимных параметров процесса.

Исследования [1, 2] показывают, что качество длинномерных резинотехнических изделий (**РТИ**) определяется величиной суммарного сдвига в общем процессе их производства, включающего приготовление резиновой смеси в резиносмесителях, последующее вальцевание для придания ей формы с целью питания червячной машины, экструзию профильных заготовок,

$$\gamma = \gamma_{PC} + \gamma_v + \gamma_{ш} + \gamma_{\phi},$$

где γ_{PC} – суммарный сдвиг в резиносмесителе роторного типа, значение которого определено в пределах 1400...1600 для наилучшего качества смешения; $\gamma_{ш}$, γ_{ϕ} , γ_v – соответственно значения величин сдвига в каналах

Соколов М.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТамбГТУ; Клинков А.С. – кандидат технических наук, профессор кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТамбГТУ; Беляев П.С. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТамбГТУ; Однолько В.Г. – кандидат технических наук, профессор, декан заочного отделения ТамбГТУ, г. Тамбов.

шнека, в каналах формирующей головки и при вальцевании, причем, существуют рациональные значения величин сдвига, при которых обеспечивается заданное качество изделий. Это позволило осуществить постановку и решение задачи оптимизации совмещенных процессов экструзии и вальцевания резиновых смесей, позволяющую определять оптимальные режимные переменные и конструктивные параметры экструзионного и валкового оборудования с точки зрения обеспечения минимальных энергозатрат.

Постановка задачи оптимизации непрерывной линии экструзии и вальцевания резиновых смесей: необходимо найти глубину винтовой нарезки шнека h^* , его наружный диаметр D^* , угловую скорость шнека ω^* , длину его нарезной части L^* , значение межвалкового зазора $h_{0в}^*$, частоту вращения валка u^* , фрикцию между валками f^* , отношение величины сдвига при экструзии к приведенной величине сдвига при вальцевании $E_\gamma = \overline{\gamma_{ш.ф}} / \overline{\gamma_в}$, при которых суммарная удельная полезная мощность, затрачиваемая на процесс экструзии и вальцевания, будет минимальной,

$$\sum N(h^*, D^*, \omega^*, L^*, h_{0в}^*, u^*, f^*, E_\gamma^*) = \min \sum N(h, D, \omega, L, h_{0в}, u, f, E_\gamma), \quad (1)$$

где $\sum N = (N_{ш} + N_{в}) / Q$;

при выполнении ограничений:

– на качество экструдата (подвулканизация)

$$JB(t) = \int_0^{t^*} \frac{\partial t}{\tau[T(t)]} = \sum_i \int_{t_{i-1}}^{t_i} \frac{\partial t}{\tau[T(t)]} \leq JB_{зад}; \quad (2)$$

где $\int_0^{t^*} \frac{\partial t}{\tau[T(t)]}$ – оценка подвулканизации резиновых смесей; $\tau[T(t)]$ – кривая,

характеризующая подвулканизацию (время достижения «скорчинга» в условиях постоянства температуры); t^* – время достижения «скорчинга» при заданном процессе подвулканизации $T(t)$;

– на качество экструдата (суммарный сдвиг):

$$\gamma(h, D, \omega, L, h_{0в}, u, f) = \gamma_{зад}; \quad (3)$$

$$\gamma(h, D, \omega, L) = \gamma_{ш.зад}; \quad (4)$$

$$\gamma(h_{0в}, u, f) = \gamma_{в.зад}; \quad (5)$$

где $\overline{\gamma_{в.зад}} = \overline{\gamma_{в.зад}} / K_\gamma$; $\overline{\gamma_{в.зад}} = \gamma_{зад} - \gamma_{ш.зад}$; $E_\gamma = \overline{\gamma_{ш.зад}} / \overline{\gamma_{в.зад}}$;

– на прочность материала (жесткость) шнека

$$\sigma(h, D, \omega, L) \leq [\sigma]; \quad (6)$$

– на производительность шнековой машины

$$Q(h, D, \omega, L) = Q_{\text{зад}}; \quad (7)$$

– на температуру выхода экструдата

$$T_{\text{см. вых}}(h, D, \omega, L) = T_{\text{зад}}; \quad (8)$$

– на границы изменения варьируемых параметров

$$\begin{cases} D_* \leq D \leq D^*; Dk_{h^*} \leq k_h \leq Dk_h^*; \\ \omega_* \leq \omega \leq \omega^*; Dk_{L^*} \leq k_L \leq Dk_L^*; E_{\gamma_*} \leq E_{\gamma} \leq E_{\gamma^*}; \\ h_{0в^*} \leq h_{0в} \leq h_{0в}^*; u_* \leq u \leq u^*; f_* \leq f \leq f^*, \end{cases} \quad (9)$$

где Dk_{h^*} , D_* , ω_* , Dk_{L^*} , E_{γ^*} , $h_{0в^*}$, u_* , f_* и Dk_h^* , D^* , ω^* , Dk_L^* , E_{γ^*} , $h_{0в}^*$, u^* , f^* – соответственно, левая и правая границы изменения конструктивных (h , D , L , $h_{0в}$) и технологических (ω , E_{γ} , u , f) параметров; k_{h^*} , k_{L^*} , k_h^* , k_L^* , k_h , k_L – соответственно, коэффициенты, учитывающие левую, правую границы и начальные значения конструктивных параметров (h , L); $J_{\text{в.зад}}$, $\gamma_{\text{зад}}$, $\gamma_{\text{ш.зад}}$, $\gamma_{\text{в.зад}}$, $\bar{\gamma}_{\text{в.зад}}$, $Q_{\text{зад}}$, $T_{\text{зад}}$ – соответственно заданные значения критерия подвулканизации, суммарной величины сдвига, величины сдвига в каналах шнека, величины сдвига в межвалковом зазоре, приведенной величины сдвига в межвалковом зазоре, производительности шнековой машины, температуры резиновой смеси на выходе из материального цилиндра; $N_{\text{ш}}$, $N_{\text{в}}$ – соответственно, полезная мощность при экструзии и вальцевании; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала шнека (допускаемый прогиб $[y]$) и соотношений математических моделей экструзии и вальцевания полимеров [1, 2].

Заданные (рациональные) значения величин сдвига в каналах шнека и в межвалковом зазоре для каждого шифра резиновой смеси определяются на специальных, разработанных нами, измерительных устройствах, выполненных на базе червячной машины МЧХ-32/10 [1] (без предварительной обработки вальцеванием) и вальцов СМ 200/200 83 [2] с отборочным червячным устройством.

Поставленная задача (1) – (9) решена с помощью метода скользящего допуска, реализованного в программе для ЭВМ [3], как для совмещенных процессов вальцевания и экструзии при проектировании новых производств длинномерных РТИ, так и по отдельности, что встречается в случаях модернизации существующего оборудования. При этом принимались следующие исходные и начальные данные: $\varphi = 17^\circ$; $J_{\text{в.зад}} = 1\%$; $\gamma_{\text{ш.зад}} = 3500$, $T_{\text{зад}} = 100$ °С; $D = 0,03 \dots 0,09$ м; $k_{h^*} = 0,05$; $k_h^* = 0,15$; $\omega = 1,2 \dots 9,4$ с⁻¹; $k_{L^*} = 5$; $k_L^* = 10$; $\Delta P = 20$ МПа; $\delta_{\text{ц}} = 0,0005$ м; $\alpha = 100$ Вт/(м² · °С); $T_{\text{см. вых}} = 50$ °С, $T_{\text{ц}} = 85$ °С; $e = 0,1D$; $D_0 = 0,05$ м; $h_0 = 0,1D$ м; $\omega_0 = 3,14$ с⁻¹; $L_0 = 7D$ м. Рациональные значения суммарного сдвига $\gamma_{\text{ш.зад}} = 3500$ и кри-

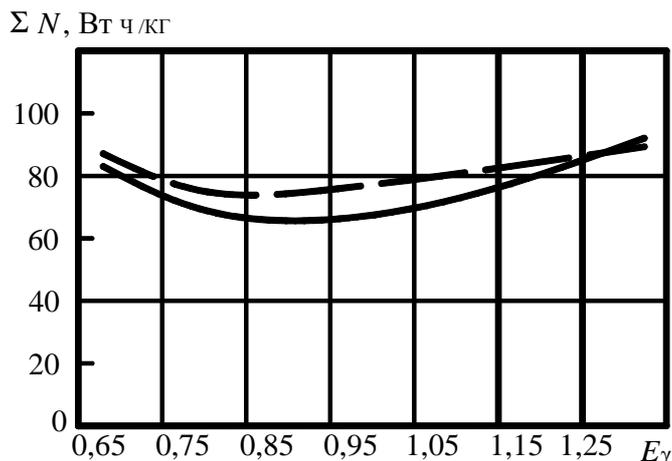


Рис. 1. Зависимость удельной суммарной полезной мощности ΣN от отношения величины сдвига при экструзии к величине сдвига при вальцевании E_γ ; $Q = 4$ кг/ч; - - - - экспериментальные значения; — — — расчетные значения

терия подвулканизации $J_{B_{зад}} = 1$ % для данной смеси определены с помощью разработанного измерительного устройства на базе червячной машины МЧХ-32/10 со сменными формующими элементами экструзионной головки [3].

Для проверки адекватности решения задачи оптимизации изготавливались три шнека с оптимальными геометрическими параметрами ($h^* = 0,0025$ м; $0,0032$ м; $0,0035$ м – для МЧХ-32/10; $h^* = 0,0050$ м, $0,0055$ м, $0,0060$ м – для МЧХ-60/10), и проводилась пластикация резиновой смеси на этих машинах.

Решение задачи оптимизации с помощью программ на ЭВМ [4, 5] для совмещенных процессов вальцевания и экструзии для той же резиновой смеси шифра НО-68НГА показало, что минимальная суммарная полезная мощность достигается при распределении суммарного сдвига между вальцами и экструдером в пропорции, соответствующей значению коэффициента $E_\gamma = 0,9$ (рис. 1).

При этом суммарная удельная полезная мощность при совместном решении задачи оптимизации уменьшается на 33 % по сравнению с результатом решения отдельных задач оптимизации экструзионного и валкового оборудования. Отклонение расчетных и экспериментальных значений удельной полезной мощности не превышает 11,6 % (см. рис. 1), что допустимо при решении задач оптимизации оборудования для совмещенных процессов вальцевания и экструзии при производстве длинномерных РТИ.

Список литературы

1. Проектирование экструзионных машин с учетом качества резинотехнических изделий : монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 292 с.

2. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов : монография / Клинков А.С. и [др.]. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 320 с.

3. Соколов, М.В. Измерительное устройство для определения рациональных значений суммарного сдвига и критерия подвулканизации при производстве длинномерных резинотехнических изделий заданного качества / М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – Серия : Технические науки. – 2007. – Т. 2, №4(10). – С. 195–202.

4. Свидетельство № 2003611833 о регистрации программы для ЭВМ. Расчет оптимальных технологических и конструктивных параметров экструзии резиновых смесей с учетом минимизации технологической мощности и получения качественного экструдата (Оптимизация экструзионного оборудования) / Соколов М.В., Клинков А.С., Кочетов В.И., Беляев П.С. (РФ) ; опубл. 04.08.2003.

5. Свидетельство № 2006612171 о регистрации программы для ЭВМ. Расчет суммарной величины сдвига при переработке термопластов на вальцах (Прогнозирование качества термопластов на вальцах) / Полушкин Д.Л., Соколов М.В., Шашков И.В., Клинков А.С., Беляев П.С. (РФ) ; опубл. 22.06.2006.

Energy-Saving Technology for Production of Long-Sized Rubber Technical Items of Specific Quality

M.V. Sokolov, A.S. Klinkov, P.S. Belyaev, V.G.Odnolko

Tambov State Technical University, Tambov

Key word and phrases: integrated criterion of quality; rubber mixture; minimization of power costs.

Abstract: The theoretical fundamentals of identifying optimum technological variables and design parameters of scroll and extrude equipment used in production of long-sized rubber technical items of specific quality are considered.

© М.В. Соколов, А.С. Клинков,
П.С. Беляев, В.Г. Однолько, 2008