

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ
И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ДЛИННОМЕРНЫХ
РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК**

М. В. Соколов^{1✉}, П. С. Беляев², Д. В. Туляков³

*Кафедры: «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» (1),
msok68@mail.ru, «Материалы и технология» (2), ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия;
ТОГАПОУ «Тамбовский бизнес-колледж» (3), Тамбов, Россия*

Ключевые слова: длинномерные профильные заготовки; критерии оптимизации; критерий подвулканизации; линии уровня; параметры управления; полезная мощность; резинотехнические изделия; суммарный сдвиг в каналах шнека.

Аннотация: В целях выбора параметров управления при оптимизации процесса экструзии и конструкции оборудования для переработки резиновых смесей в длинномерные профильные заготовки установлен характер и вес относительного влияния основных технологических и конструктивных параметров между собой и на функции состояния, таких как полезная мощность, производительность шнековой машины, критерий подвулканизации и суммарный сдвиг в каналах шнека, то есть исследована их совместная корреляция.

Введение

Построение линий уровня функций состояния позволяет провести оценку и выбор параметров управления для исследования и оптимизации процесса и конструкции оборудования для переработки резиновых смесей при изотермическом и неизотермическом режимах экструзии. Анализируя линии уровня функций состояния и рассматривая влияние каждого из основных технологических и конструктивных параметров на величины изменения функций состояния, то есть определяя их вес, можно выбрать варьируемые в качестве параметров управления из таких как: угловая скорость шнека ω , угол наклона винтовой линии нарезки шнека φ , глубина винтового канала шнека h , его наружный диаметр D и длина нарезной части L , зазор между гребнем шнека и внутренней поверхностью материального цилиндра $\delta_{\text{ц}}$, ширина гребня шнека e .

В качестве функций состояния принимали полезную мощность N , производительность шнековой машины Q , критерий подвулканизации J_B [1] и суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{\text{ш}}$ [2], которые зависят от конструктивных и технологических параметров по уравнениям математической модели, изложенной в книге [3].

Оценка взаимного относительного влияния основных технологических и конструктивных параметров процесса и оборудования экструзии резиновых смесей посредством анализа линий уровня функций состояния

Влияние конструктивных и технологических параметров шнековой (червячной) машины проведено на примере экструзии резиновой смеси НО-68-1 со следующими теплофизическими и реологическими параметрами: $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,22 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$; $c = 2300 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$; при изотермическом ($m_0 = 100 \text{ кПа} \cdot \text{с}^n$; $n = 0,2$; $T_{\text{см.вх}} = T_{\text{см.вых}} = 358 \text{ К}$; $T_{\text{ц}} = 358 \text{ К}$) и неизотермическом режимах экструзии ($m_0 = 600 \text{ кПа} \cdot \text{с}^n$; $n = 0,2$; $T_{\text{см.вх}} = 323 \text{ К}$; $T_{\text{ц}} = 358 \text{ К}$; $\Delta P = 20 \text{ МПа}$).

Выбор параметров управления проводился с помощью линий уровня функций состояния, построение которых осуществлялось при поддержке программного обеспечения для ЭВМ, разработанного на основе математической модели процесса экструзии резиновых смесей [3, 4].

На рисунке 1 показано влияние угла наклона винтовой линии φ и глубины винтового канала червяка h на полезную мощность N , производительность Q . Очевидно, что изменение угла наклона нарезки φ на 33 % в области своих реальных значений ($15 \dots 20^\circ$) увеличивает полезную мощность N на 20 % (см. рис. 1, а). Увеличение глубины винтового канала червяка h ($0,004 \dots 0,006 \text{ м}$) на 50 % приводит к увеличению полезной мощности N на 25 % (кривые 1 – 3), так как с увеличением глубины винтового канала h захватывается больше перерабатываемого материала, и, следовательно, требуется большее усилие на транспортирование резиновой смеси вдоль канала червяка. Как видно из рис. 1, б, угол наклона нарезки φ в области своих реальных значений ($15 \dots 20^\circ$) и глубина винтового канала h ($0,004 \dots 0,008 \text{ м}$) незначительно влияют на изменение полезной мощности N (2 – 8 %), так как с изменением угла наклона нарезки φ гидравлическое сопротивление материала в винтовом канале практически не изменяется.

Производительность червячной машины Q в большей степени зависит от глубины винтового канала h , чем от угла наклона нарезки φ (см. рис. 1). Причем, чем больше глубина винтового канала h (на 33 %), тем больше производительность Q (на 30 %), так как с увеличением h объем винтового канала также увеличивается, а значит, транспортируется больше резиновой смеси в единицу времени. При увеличении угла наклона нарезки φ (на 33 %) увеличивается шаг нарезки t червяка, а также производительность Q (на 14 %), так как за один оборот червяка резиновая смесь проходит вдоль оси червяка большее расстояние и, следовательно, быстрее выходит из материального цилиндра.

На рисунке 2 показано влияние угла наклона винтовой линии φ и глубины винтового канала червяка h на критерий подвулканизации J_B и суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{\text{ш}}$. Критерий подвулканизации J_B в большей степени зависит от угла наклона нарезки φ , чем от глубины винтового канала h , и изменяется незначительно (на 10 %), так как производительность незначительно зависит от угла наклона нарезки φ (см. рис. 2).

Суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{\text{ш}}$ в большей степени зависит от глубины винтового канала h , чем от угла наклона нарезки φ (см. рис. 2). Причем, чем больше глубина винтового канала h (на 33 %), а, следовательно, меньше скорость сдвига $\dot{\gamma}$, тем меньше суммарный сдвиг $\gamma_{\text{ш}}$ (на 50 %), что связано с увеличением производительности Q и уменьшением времени пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре, а чем больше угол наклона нарезки φ (на 33 %), тем больше суммарный сдвиг $\gamma_{\text{ш}}$ (на 10 %).

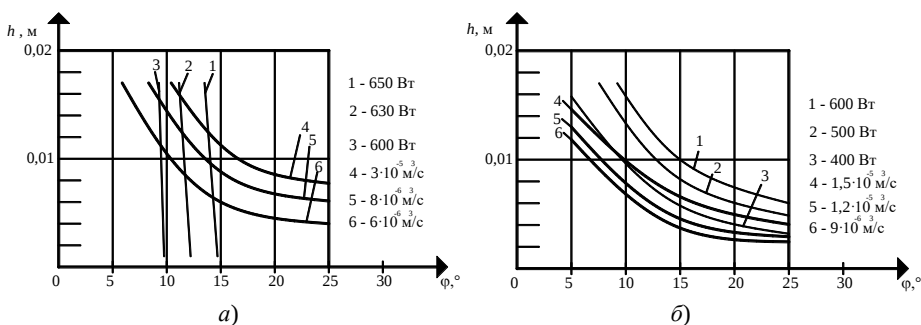


Рис. 1. Линии уровня функций мощности N (1 – 3) и производительности Q (4 – 6) для $D = 0,032 \text{ м}$; $\omega = 2,1 \text{ с}^{-1}$ (20 мин $^{-1}$); $L = 0,32 \text{ м}$; $e = 0,0032 \text{ м}$; $\delta_n = 0,001 \text{ м}$: а – изотермический режим; б – неизомермический режим экструзии

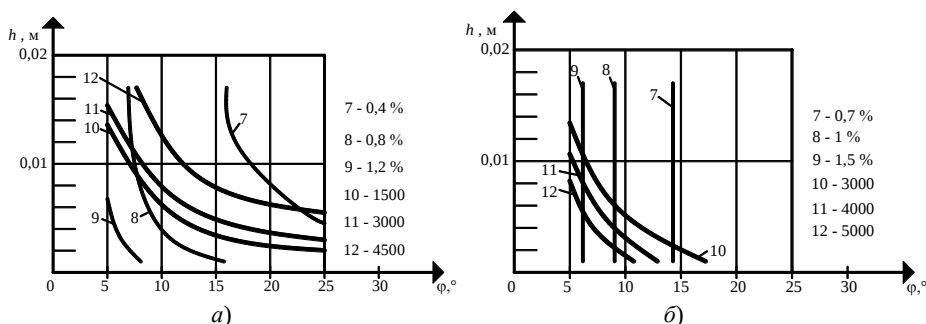


Рис. 2. Линии уровня функций критерия подвулканизации JB (7 – 9) и суммарного сдвига $\gamma_{ш}$ (10 – 12) для $D = 0,032 \text{ м}$; $\omega = 2,1 \text{ с}^{-1}$ (20 мин $^{-1}$); $L = 0,32 \text{ м}$; $e = 0,0032 \text{ м}$; $\delta_n = 0,001 \text{ м}$: а – изотермический режим; б – неизомермический режим экструзии

На рисунке 3 показано влияние угла наклона винтовой линии ϕ и наружного диаметра D червяка на полезную мощность N , производительность Q . Угол наклона винтовой линии червяка ϕ в области своих реальных значений, по сравнению с наружным диаметром червяка D , влияет незначительно на изменение полезной мощности N . Причем, увеличение наружного диаметра червяка D на 33 % приводит к увеличению полезной мощности N на 60 % (кривые 1 – 3), так как увеличивается гидравлическое сопротивление материала в винтовом канале червяка и, следовательно, увеличиваются силы трения между резиновой смесью и материалом цилиндра, а также интенсивность сдвиговой деформации перерабатываемого материала, что приводит к увеличению мощности, расходуемой на транспортирование резиновой смеси вдоль канала, и мощности диссипации. Увеличение угла наклона нарезки ϕ на 33 % приводит к увеличению полезной мощности N при изотермическом и неизомермическом режимах соответственно на 20 % (см. рис. 3, а) и 5 % (см. рис. 3, б).

Производительность червячной машины Q в большей степени зависит от наружного диаметра червяка D , чем от угла наклона нарезки ϕ (см. рис. 3). Причем, чем больше наружный диаметр червяка D (на 33 %), тем больше производительность Q (на 200 %) (кривые 4 – 6), что объясняется увеличением объема винтового канала, а значит, транспортируется больше резиновой смеси в единицу времени. Увеличение угла наклона нарезки ϕ на 33 % приводит к увеличению производительности Q на 100 %.

На рисунке 4 показано влияние угла наклона винтовой линии ϕ и наружного диаметра D червяка на критерий подвулканизации JB и суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$.

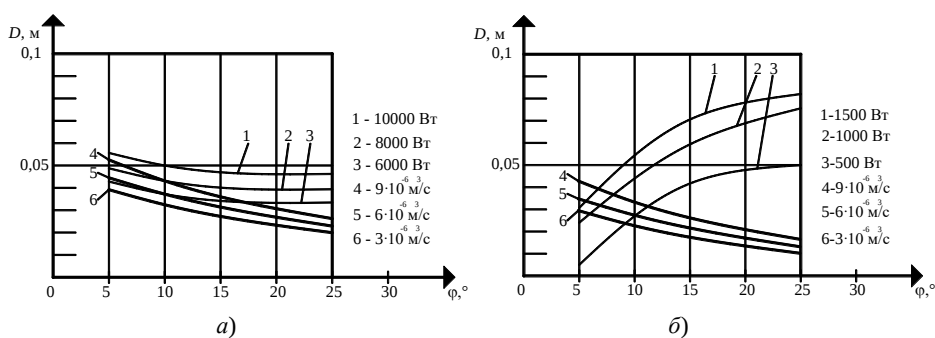


Рис. 3. Линии уровня функций мощности N (1 – 3) и производительности Q (4 – 6) для $H = 0,004$ м; $\omega = 3,14$ с⁻¹ (30 об/мин); $L = 0,32$ м; $e = 0,0032$ м; $\delta_d = 0,001$ м:
 а – изотермический режим; б – не изотермический режим экструзии

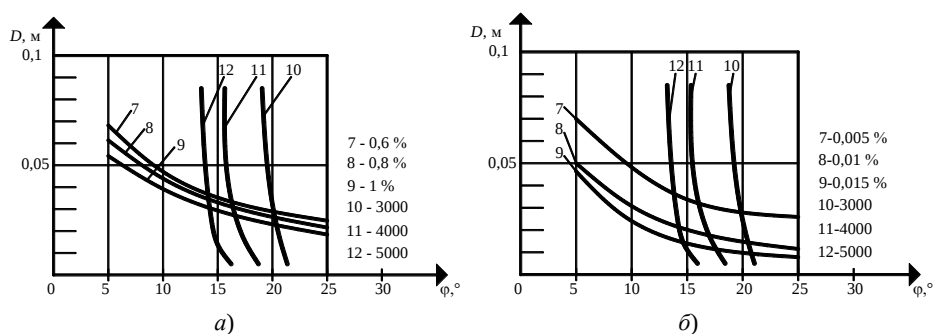


Рис. 4. Линии уровня функций критерия подвулканизации J_B (7 – 9) и суммарного сдвига $\gamma_{ш}$ (10 – 12) для $H = 0,004$ м; $\omega = 3,14$ с⁻¹ (30 об/мин); $L = 0,32$ м; $e = 0,0032$ м; $\delta_d = 0,001$ м:
 а – изотермический режим; б – не изотермический режим экструзии

Критерий подвулканизации J_B в большей степени зависит от наружного диаметра червяка D , чем от угла наклона нарезки ϕ , и изменяется незначительно (см. рис. 4). При увеличении наружного диаметра червяка D на 33 % критерий подвулканизации J_B уменьшается на 60 %, так как производительность Q увеличивается, что приводит к уменьшению времени пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре.

Суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ в большей степени зависит от угла наклона нарезки ϕ , чем от наружного диаметра червяка D (рис. 5). Причем, чем больше угол наклона нарезки ϕ (на 33 %), тем меньше суммарный сдвиг $\gamma_{ш}$ (на 50 %), что связано с увеличением производительности Q и уменьшением времени пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре как для изотермического, так для и не изотермического режимов экструзии резиновых смесей. На рисунке 5 показано влияние угла наклона винтовой линии ϕ и угловой скорости ω червяка на полезную мощность N , производительность Q .

Угол наклона нарезки ϕ в области своих реальных значений, по сравнению с угловой скоростью ω , влияет незначительно на изменение полезной мощности N . Причем, увеличение угловой скорости ω на 33 % приводит к увеличению полезной мощности N на 50 % (кривые 1 – 3), так как увеличивается скорость сдвига (интенсивность сдвиговых деформаций) в перерабатываемом материале и, следовательно, увеличиваются силы трения между резиновой смесью и материалом цилиндра. Изменение угла наклона нарезки ϕ на 33 % при изотермическом и не изотермическом режимах приводит к изменению полезной мощности N на 25 (см. рис. 5, а) и 20 % (см. рис. 5, б) соответственно.

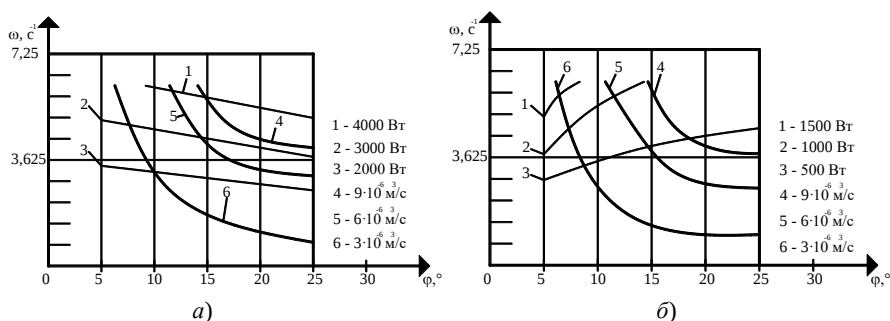


Рис. 5. Линии уровня функций мощности N (1 – 3), производительности Q (4 – 6) для $H = 0,006$ м; $D = 0,032$ м; $L = 0,32$ м; $e = 0,0032$ м; $\delta_n = 0,001$ м: а – изотермический режим; б – неизотермический режим экструзии

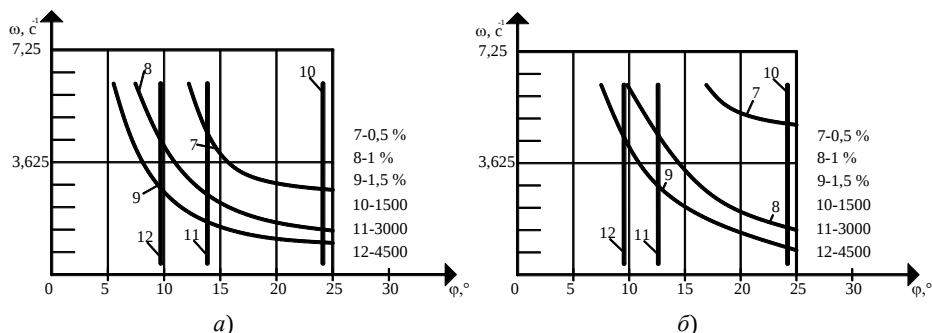


Рис. 6. Линии уровня функций критерия подвулканизации J_B (7 – 9) и суммарного сдвига $\gamma_{ш}$ (10 – 12) для $H = 0,006$ м; $D = 0,032$ м; $L = 0,32$ м; $e = 0,0032$ м; $\delta_n = 0,001$ м: а – изотермический режим; б – неизотермический режим экструзии

Производительность червячной машины Q (см. рис. 5) также в большей степени зависит от угловой скорости шнека ω , чем от угла наклона нарезки φ в области своих реальных значений. Причем, чем больше угловая скорость шнека ω (на 33 %), тем больше производительность Q (на 100 %) (кривые 4 – 6), что объясняется увеличением скорости продвижения резиновой смеси по винтовым каналам. Изменение угла наклона нарезки φ на 33 % приводит к изменению производительности Q при изотермическом и неизотермическом режимах на 20 (см. рис. 5, а) и 15 % (см. рис. 5, б) соответственно.

На рисунке 6 показано влияние угла наклона винтовой линии φ и угловой скорости шнека ω на критерий подвулканизации J_B и суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$. Критерий подвулканизации J_B в большей степени зависит от угловой скорости шнека ω , чем от угла наклона нарезки φ . При увеличении угловой скорости шнека ω на 33 % критерий подвулканизации J_B уменьшается на 70 %, так как производительность Q увеличивается, что приводит к уменьшению времени пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре и, следовательно, меньшей ее подвулканизации как для изотермического, так и для неизотермического режимов экструзии резиновых смесей.

Суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ в большей степени зависит от угла наклона нарезки φ , чем от угловой скорости шнека ω (см. рис. 6). Причем, чем больше угол наклона нарезки φ (на 33 %), тем меньше суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ (на 25 %), что связано с увеличением производительности Q и уменьшением времени пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре как для изотермического, так и неизотермического режимов экструзии резиновых смесей.

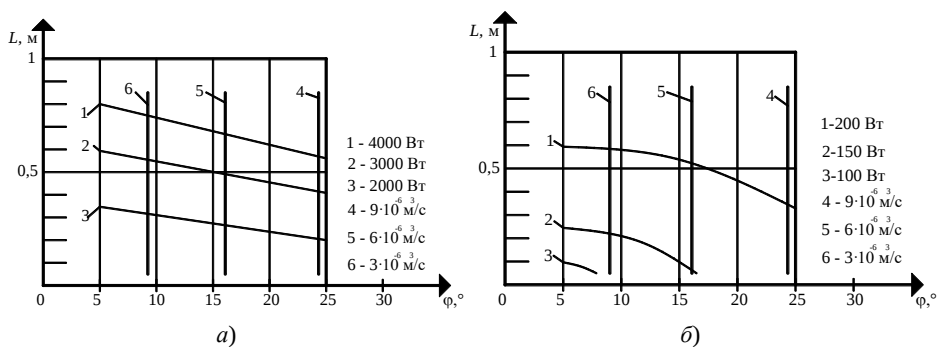


Рис. 7. Линии уровня функций мощности N (1 – 3) и производительности Q (4 – 6) для $H = 0,006 \text{ м}$; $D = 0,032 \text{ м}$; $\omega = 5,2 \text{ с}^{-1}$ (50 об/мин); $e = 0,0032 \text{ м}$; $\delta_n = 0,001 \text{ м}$: а – изотермический режим; б – неизоермический режим экструзии

На рисунке 7 показано влияние угла наклона винтовой линии φ и длины нарезной части L червяка на полезную мощность N и производительность Q . Как видно, угол наклона нарезки φ по сравнению с длиной нарезки червяка L влияет на изменение полезной мощности N незначительно, чем больше угол наклона нарезки φ (на 33 %) в области своих реальных значений, тем больше полезная мощность N (на 8 %).

Увеличение длины нарезки червяка L на 33 % повышает полезную мощность N на 25 % (кривые 1 – 3), так как растет сопротивление материала в винтовом канале червяка, что требует больше энергии (полезной мощности) на преодоление этого сопротивления.

Производительность Q не зависит от изменения длины нарезки червяка L , что объясняется изменением насосного эффекта, и в большей степени зависит от угла наклона нарезки φ . Причем, чем больше угол наклона нарезки φ (на 33 %), тем больше производительность Q (на 36 %) (см. рис. 7, кривые 4 – 6). Изменение длины нарезки червяка L на 33 % не приводит к изменению производительности Q (см. рис. 7) как для изотермического, так и для неизоермического режимов экструзии резиновых смесей.

На рисунке 8 показано влияние угла наклона винтовой линии φ и длины нарезной части L червяка на критерий подвулканизации J_B и суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$. Критерий подвулканизации J_B в большей степени зависит от длины нарезки червяка L , чем от угла наклона нарезки φ . Увеличение длины нарезки червяка L (на 33 %) повышает критерий подвулканизации J_B (на 42 %), так как увеличивается время пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре. Увеличение угла наклона нарезки φ на 33 % приводит к уменьшению критерия подвулканизации J_B на 17 %, так как увеличивается производительность Q и, следовательно, уменьшается время пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре (см. рис. 8) как для изотермического, так и неизоермического режимов экструзии резиновых смесей.

Суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ в большей степени зависит от длины нарезки червяка L , чем от угла наклона нарезки φ (см. рис. 8). Причем, чем больше длина нарезки червяка L (на 33 %), тем больше суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ (на 40 %), что связано с увеличением времени пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре. Чем больше угол наклона нарезки φ (на 33 %), тем меньше суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ (на 33 %) как для изотермического, так и неизоермического режимов экструзии резиновых смесей.

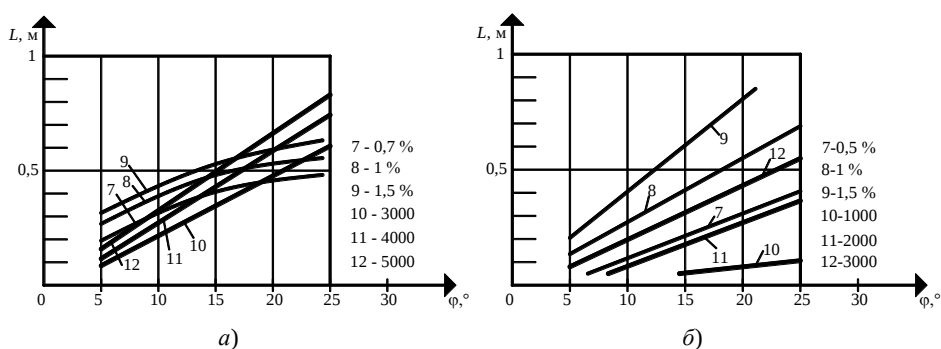


Рис. 8. Линии уровня функций критерия подвулканизации JB (7 – 9) и суммарного сдвига $\gamma_{\text{ш}}$ (10 – 12) для $H = 0,006$ м; $D = 0,032$ м; $\omega = 5,2$ с⁻¹ (50 об/мин); $e = 0,0032$ м; $\delta_{\text{ц}} = 0,001$ м: а – изотермический режим; б – неизомермический режим экструзии

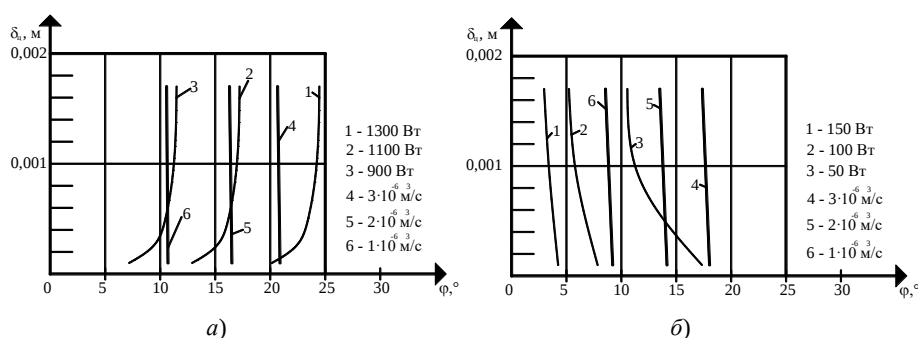


Рис. 9. Линии уровня функций мощности N (1 – 3) и производительности Q (4 – 6) для $H = 0,004$ м; $D = 0,032$ м; $\omega = 3,76$ с⁻¹ (35 мин⁻¹); $L = 0,32$ м; $e = 0,0032$ м: а – изотермический режим; б – неизомермический режим экструзии

На рисунке 9 показано влияние угла наклона винтовой линии φ и зазора $\delta_{\text{ц}}$ между гребнем червяка и внутренней поверхностью материального цилиндра на полезную мощность N и производительность Q . Очевидно, что в области своих реальных значений угол наклона нарезки φ , по сравнению с зазором $\delta_{\text{ц}}$, влияет на изменение полезной мощности N незначительно. Причем, чем больше угол наклона нарезки φ (на 33 %) в области своих реальных значений, тем меньше полезная мощность N (на 10 %) при изотермическом процессе, а чем больше угол наклона нарезки φ (на 33 %) в области своих реальных значений при неизомермическом процессе, тем больше полезная мощность N (на 5 %). Полезная мощность N уменьшается на 5 % при увеличении зазора $\delta_{\text{ц}}$ на 200 % (кривые 1 – 3), так как уменьшается сопротивление материала в зазоре между гребнем червяка и внутренней поверхностью материального цилиндра $\delta_{\text{ц}}$, то есть уменьшается величина сил трения, следовательно, требуется меньше энергии на преодоление этих сил трения.

Производительность Q не зависит от изменения зазора $\delta_{\text{ц}}$, и в большей степени зависит от угла наклона нарезки φ , что объясняется малой величиной потока утечки в силу малости величины зазора $\delta_{\text{ц}}$ как для изотермического, так и неизомермического режимов экструзии резиновых смесей.

На рисунке 10 показано влияние угла наклона винтовой линии φ и зазора $\delta_{\text{ц}}$ между гребнем червяка и внутренней поверхностью материального цилиндра на критерий подвулканизации JB и суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{\text{ш}}$.

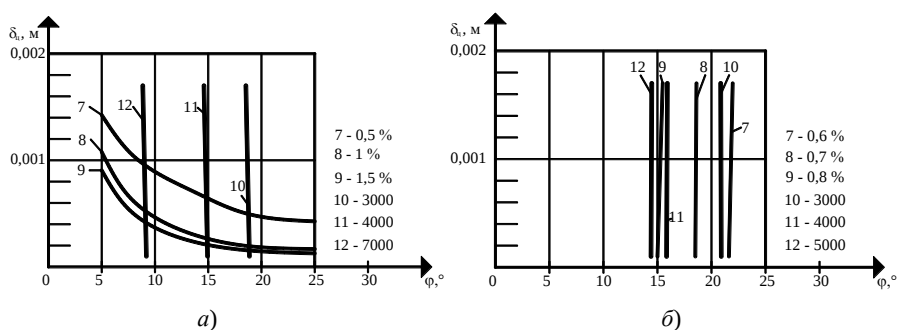


Рис. 10. Линии уровня функций критерия подвулканизации JB (7 – 9) и суммарного сдвига $\gamma_{ш}$ (10 – 12) для $H = 0,004$ м; $D = 0,032$ м; $\omega = 3,76$ с⁻¹ (35 мин⁻¹); $L = 0,32$ м; $e = 0,0032$ м:
 а – изотермический режим; б – неизотермический режим экструзии

Суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ в большей степени зависит от угла наклона нарезки ϕ , чем от зазора δ_d при изотермическом режиме экструзии (рис. 10, а). Причем, чем больше угол наклона нарезки ϕ (на 33 %), тем меньше суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ (на 33 %), что связано с уменьшением времени пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре за счет большей производительности червячной машины Q.

Суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ при неизотермическом режиме экструзии в большей степени зависит от угла наклона нарезки ϕ , чем от зазора δ_d (см. рис. 10, б). Причем, чем больше угол наклона нарезки ϕ (на 33 %), тем меньше суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ (на 30 %), что связано с уменьшением времени пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре за счет большей производительности червячной машины Q.

Критерий подвулканизации JB в большей степени зависит от зазора δ_d , чем от угла наклона нарезки ϕ при изотермическом режиме экструзии (см. рис. 10, а). Причем, чем больше зазор δ_d (на 100 %) в области реальных значений угла наклона нарезки ϕ , тем меньше критерий подвулканизации JB (на 66 %), что связано с уменьшением времени пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре за счет большей производительности Q. Критерий подвулканизации JB практически не зависит от зазора δ_d , а в большей степени зависит от угла наклона нарезки ϕ при неизотермическом режиме экструзии (см. рис. 10, б), что связано с малой величиной потока утечки в зазоре δ_d .

На рисунке 11 показано влияние угла наклона винтовой линии ϕ и ширины гребня e червяка на полезную мощность N и производительность Q. Полезная мощность N в большей степени зависит от угла наклона нарезки ϕ , чем от ширины гребня червяка e . Причем, чем больше угол наклона нарезки ϕ (на 33 %) в области реальных своих значений, тем больше полезная мощность N (на 8 %) при неизотермическом режиме экструзии (см. рис. 11, б, кривые 1 – 3). Чем больше ширина гребня червяка (на 33 %) в области реальных своих значений, тем больше полезная мощность N (на 20 %) при изотермическом режиме экструзии (см. рис. 11, а, кривые 1 – 3), что объясняется увеличением сопротивления материала в зазоре между гребнем червяка и внутренней поверхностью материального цилиндра δ_d , то есть увеличивается величина сил трения, следовательно, требуется больше энергии на преодоление этих сил трения.

Производительность Q в большей степени зависит от угла наклона ϕ , чем от ширины гребня червяка e (см. рис. 11), так как изменение ширины гребня

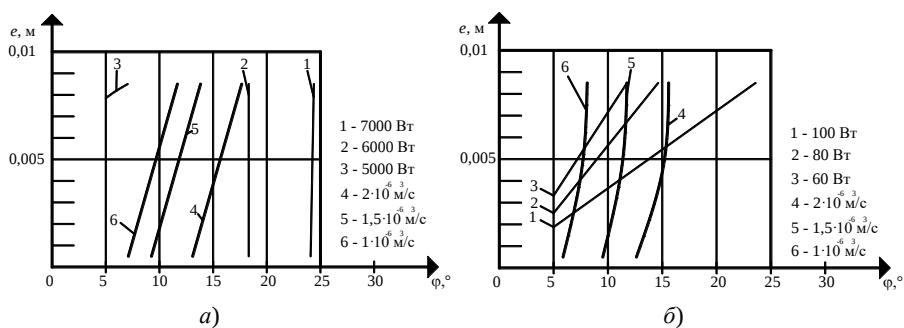


Рис. 11. Линии уровня функций мощности N (1 – 3) и производительности Q (4 – 6) для $H = 0,004$ м; $D = 0,032$ м; $\omega = 3,14$ с⁻¹ (30 об/мин); $L = 0,32$ м; $\delta_n = 0,001$ м:
а – изотермический режим; б – неизотермический режим экструзии

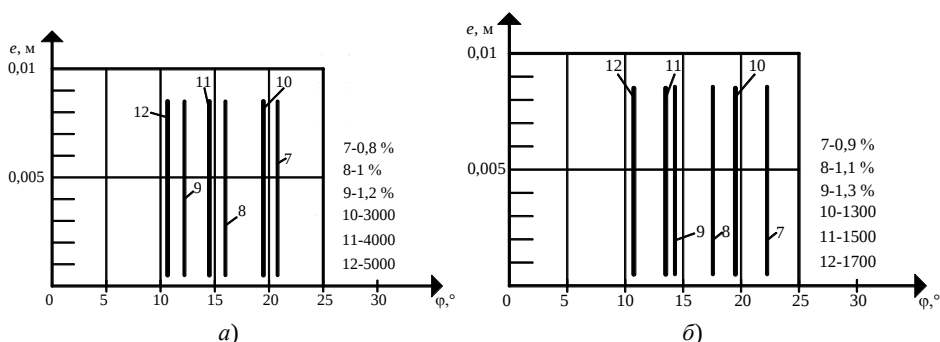


Рис. 12. Линии уровня функций критерия подвулканизации JB (7 – 9) суммарного сдвига $\gamma_{ш}$ (10 – 12) для $H = 0,004$ м; $D = 0,032$ м; $\omega = 3,14$ с⁻¹ (30 об/мин); $L = 0,32$ м; $\delta_n = 0,001$ м:
а – изотермический режим; б – неизотермический режим экструзии

червяка e (на 33 %) приводит к изменению производительности Q (на 5 %) за счет потока утечки, который составляет малую долю от прямотока. Чем больше угол наклона нарезки ϕ (на 33 %), тем больше производительность Q (на 33 %) для изотермического и неизотермического режимов экструзии резиновых смесей.

На рисунке 12 показано влияние угла наклона винтовой линии ϕ и ширины гребня e червяка на критерий подвулканизации JB и суммарный сдвиг $\gamma_{ш}$.

Критерий подвулканизации JB в большей степени зависит от угла наклона нарезки червяка ϕ , чем от ширины гребня червяка e (см. рис. 12, кривые 7 – 9). Причем, чем больше угол наклона нарезки червяка ϕ (на 33 %), тем меньше критерий подвулканизации JB (на 30 %), так как увеличивается производительность и, следовательно, уменьшается время пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре для изотермического и неизотермического режимов экструзии резиновых смесей.

Суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ в большей степени зависит от угла наклона нарезки ϕ , чем от ширины гребня червяка e (см. рис. 12). Причем, чем больше угол наклона нарезки ϕ (на 33 %) в области своих реальных значений, тем меньше суммарный сдвиг в каналах шнека $\gamma_{ш}$ (на 30 %), что связано с малой величиной потока утечки в кольцевых каналах образованных гребнем червяка (длина канала равна ширине гребня червяка e) и размером зазора между гребнем червяка и внутренней поверхностью материального цилиндра $\delta_{ц}$ (высота канала), а также уменьшением времени пребывания резиновой смеси в материальном цилиндре как для изотермического, так и неизотермического режимов экструзии резиновых смесей.

Заключение

Исходя из анализа линий уровня функций состояния, таких как полезная мощность N , производительность шнековой машины Q , критерий подвулканизации JB и суммарный сдвиг $\gamma_{ш}$ (см. рис. 1 – 12), проводился выбор параметров управления для исследования и оптимизации процесса и конструкции оборудования для переработки резиновых смесей при различных режимах экструзии. Рассматривая влияние каждого из основных технологических (ω) и конструктивных (φ , h , D , L , $\delta_{ц}$, e) параметров на величину изменения функций состояния (N , Q , JB , γ), то есть определяя их вес, выбирались в качестве параметров управления следующие варьируемые величины: глубина винтового канала шнека h ; его наружный диаметр D ; угловая скорость ω и длина нарезной части L .

Такие параметры, как угол наклона нарезки червяка φ , зазор между гребнем червяка и внутренней поверхностью материального цилиндра δ , ширина гребня винтового канала e , исключаем, так как они не оказывают или оказывают незначительное влияние на изменения функций состояния (N , Q , JB , $\gamma_{ш}$) по отношению к выбранным параметрам управления, то есть варьируемым параметрам (h , D , ω , L).

Список литературы

1. Влияние подвулканизации на относительное изменение размеров длиномерных резинотехнических заготовок / М. В. Соколов, А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько // *Вопр. совр. науки и практики*. Ун-т им. В. И. Вернадского. Серия: Технические науки. – 2008. – Т. 2, № 2(12). – С. 116 – 120.
2. Применение интегральных критериев качества при переработке полимерных материалов валково-шнековым методом / А. С. Клинков, М. В. Соколов, Д. Л. Полушкин [и др.] // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та*. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 870 – 881.
3. Методология расчета оборудования для производства длиномерных резинотехнических заготовок заданного качества / М. В. Соколов, А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. К. Скуратов, В. Г. Однолько. – М.: Машиностроение, 2009. – 352 с.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018612264 Российская Федерация. Линии уровня для выбора начальных значений варьируемых параметров процесса и оборудования экструзии профильных заготовок из резиновых смесей (Linyur) / Соколов М. В. (РФ); правообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». – № 2017663961 : заявл. 28.12.2017 : опубли. 14.02.2018. Бюл. № 2.

The Influence of Mode Variables and Design Equipment Parameters on Energy Consumption and Quality Parameters of Long Rubber Billets

M. V. Sokolov^{1✉}, P. S. Belyaev², D. V. Tulyakov³

Departments: Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering (1), msok68@mail.ru; Materials and Technology (2), TSTU, Tambov, Russia; Tambov Business College (3), Tambov, Russia

Keywords: long profile billets; optimization criteria; sub-vulcanization criterion; level lines; control parameters; useful power; rubber products; total shear in screw channels.

Abstract: In order to choose control parameters for optimization of extrusion process and design of equipment for processing rubber mixtures into long profile billets, nature and weight of relative influence of main technological and design parameters between each other and on state functions, such as useful power, screw machine productivity, sub-vulcanization criterion and total shift in screw channels, i.e. their joint correlation is investigated.

References

1. Sokolov M.V., Klinkov A.S., Belyayev P.S., Odnol'ko V.G. [Effect of pre-vulcanization on the relative change in the dimensions of long rubber blanks], *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2008, vol. 2, no. 2(12), pp. 116-120. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Klinkov A.S., Sokolov M.V., Polushkin D.L., Shashkov I.V., Belyayev P.S., Tulyakov D.V. [Application of integral quality criteria in the processing of polymeric materials by the roller-screw method], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2008, vol. 14, no. 4, pp. 870-881. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Sokolov M.V., Klinkov A.S., Belyayev P.S., Skuratov V.K., Odnol'ko V.G. *Metodologiya rascheta oborudovaniya dlya proizvodstva dlinnomernykh rezinotekhnicheskikh zagotovok zadannogo kachestva* [Methodology for calculating equipment for the production of long rubber blanks of a given quality], Moscow: Mashinostroyeniye, 2009, 352 p. (In Russ.)
4. Sokolov M.V. (RF); *Linii urovnya dlya vybora nachal'nykh znacheniy var'iruyemykh parametrov protsessa i oborudovaniya ekstruzii profil'nykh zagotovok iz rezinovykh smesey (Linyur)* [Level lines for selecting the initial values of variable process parameters and equipment for extrusion of profile blanks from rubber compounds (Linyur)], Russian Federation, 2018, No. 2018612264 (In Russ.)

Einfluss von regimevariablen und konstruktiven Geräteparametern auf den Energieverbrauch und Qualitätsindikatoren der Langgummirohlinge

Zusammenfassung: Zur Auswahl von Steuerungsparametern für die Optimierung des Extrusionsprozesses und der Konstruktion von Anlagen zur Verarbeitung von Kautschukmischungen zu langen Profilblöcken sind Art und Gewicht des relativen Einflusses der wichtigsten technologischen und konstruktiven Parameter untereinander und auf Zustandsfunktionen wie Nutzleistung, Schneckenmaschinenproduktivität, Untervulkanisationskriterium und Gesamtscherung in Schneckenkanälen ermittelt, d.h. ihre gemeinsame Korrelation ist untersucht.

Influence des variables de mode et des paramètres constructifs de l'équipement sur la consommation d'énergie et les indicateurs de qualité ébauches en caoutchouc

Résumé: Afin de sélectionner les paramètres de contrôle lors de l'optimisation du processus d'extrusion et de la conception de l'équipement pour le traitement des mélanges de caoutchouc en billettes de profil longues, est définie la nature et le poids de l'influence des principaux paramètres technologiques et structurels entre eux et sur les fonctions de l'état, telles que la puissance.

Авторы: *Соколов Михаил Владимирович* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Беляев Павел Серафимович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Материалы и технология», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия; *Туляков Денис Валерьевич* – преподаватель ТОГАПОУ «Тамбовский бизнес-колледж», Тамбов, Россия.