

шии. Данная модель позволяет описать напряженно-деформированное состояние полимерного материала с учетом зависимости его фазового состава от температуры. При этом связь осевого напряжения σ с продольной деформацией ϵ в случае одноосного напряженного состояния можно представить в виде

$$\sigma(t) = E_1(T)\epsilon(t) + [E_2(T) - E_1(T)] \int_0^t [\epsilon(t) - \epsilon^*(\tau)] dN(\tau) - [E_1(T) + N(t)(E_2(T) - E_1(T))] \epsilon_T(t) + [E_2(T) - E_1(T)] \int_0^t \epsilon_T(\tau) dN(\tau).$$

Здесь t – время; T – абсолютная температура, зависимость которой от времени считается известной; $E_1(T)$, $E_2(T)$ – модули упругости полимера в высокоэластичном и кристаллическом состояниях соответственно; $N(t)$ – доля содержания кристаллической фазы, зависящая от температуры; $\epsilon^*(\tau)$ – деформация, соответствующая доле $N(\tau)$ при охлаждении материала, т. е. «замороженная» деформация; ϵ_T – температурная деформация. Величина N принимает следующие значения: $N = 0$ при $T > T_{g1}$ и $N = 1$ при $T < T_{g2}$. Здесь T_{g1} , T_{g2} – температуры начала и завершения процесса кристаллизации. Функция $N(T)$ в диапазоне $T_{g2} \leq T \leq T_{g1}$ определяется экспериментально.

Используя предложенную математическую модель, можно определить зависимости $\sigma(t)$ и $\epsilon(t)$ в процессе реализации явления термоусадки полимера, т. е. описать приведенные ранее этапы реализации "эффекта памяти" полимеров. Для реализации эффекта памяти необходимо, чтобы температура на третьем этапе была ниже T_{g2} , а в конце четвертого – выше T_{g1} . Наибольший интерес для оптимизации явления термоусадки и обеспечения надежности используемого изделия представляет зависимость напряжения на четвертом этапе σ_4 от температуры и значение $\sigma_{тр}$, достигаемое по завершении этого этапа. В качестве примера рассмотрим процесс реализации эффекта памяти образца из радиационно-модифицированного полиэтилена высокой плотности. Характер полученных зависимостей $\sigma_4(T)$ соответствует известным экспериментальным данным.

Таким образом, предложена математическая модель описания процесса термоусадки кристаллизующихся полимеров, позволяющая прогнозировать напряженно-деформированное состояние используемого изделия и оптимизировать основные параметры процессов его создания и эксплуатации.

УДК 625.08

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ И ПОЛЕЗНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ТОРМОЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

А. С. ШИБЕКО

Могилевский государственный технический университет

Анализ процесса торможения современных гидрофицированных машин показывает, что энергия вращательно и поступательно движущихся элементов превращается в тепловую, рассеивается в окружающей среде и полезно не используется. Автором предложена система, позволяющая накапливать энергию торможения и полезно ее использовать в моменты наибольшей загрузки двигателя.

Накопление энергии осуществляется посредством регулируемого реверсивного аксиально-поршневого гидронасоса, кинематически связанного с двигателем и закачивающего гидравлическую жидкость в гидропневмоаккумулятор. Величина подачи гидронасоса пропорциональна ходу педали тормоза и обратно пропорциональна величине давления зарядки гидропневмоаккумулятора. Во время движения машины без торможения гидронасос работает при минимальной подаче на слив. Зарядка гидропневмоаккумулятора осуществляется до момента достижения давления настройки предохранительного клапана.

Полезное использование энергии торможения осуществляется посредством схемы, обеспечивающей торможение. При условии наличия жидкости в гидропневмоаккумуляторе и воздействии оператора на педаль акселератора жидкость из гидропневмоаккумулятора поступает под давлением на вход гидронасоса, создавая дополнительную полезную мощность, передаваемую через трансмиссию на двигатель.

Для обоих случаев работы системы накопления и полезного использования энергии была разработана гидравлическая схема и динамические модели, описывающие эти случаи. При составлении динамических моделей были приняты следующие допущения: переходные процессы в трансмиссии не учитываются (элементы трансмиссии абсолютно жесткие, зазоры между элементами трансмиссии отсутствуют, тепловые процессы не учитываются); модуль упругости газожидкостной смеси принимается постоянным; клапаны срабатывают мгновенно; утечки рабочей жидкости в гидравлической системе отсутствуют; грунтовые условия в процессе торможения постоянны (коэффициент сопротивления перекачиванию и коэффициент сцепления – постоянны, движение юзом – отсутствует).

Для описания динамических моделей были составлены системы уравнений (таблица 1).

Таблица 1

Накопление энергии	Полезное использование энергии
$\frac{dP_{y1}}{dt} = (Q_1(X_{ГПА}, X_{пед}^{торм}) - Q_2 - Q_3) \cdot c_{r1};$	$\frac{dP_{y11}}{dt} = (Q_{11} - Q_{12}) \cdot c_{r11};$
$\frac{dP_{y2}}{dt} = (Q_3 - Q_4 - Q_5) \cdot c_{r2};$	$\frac{dP_{y12}}{dt} = (Q_{12} - Q_{13}) \cdot c_{r12};$
$\frac{dQ_2}{dt} = \frac{P_{y1} - P_{ГПА}(X_{ГПА}) - P_{o2}}{m_{тр2} + m_{ГПА}(X_{ГПА})};$	$\frac{dP_{y13}}{dt} = (Q_{13} - Q_{14} - Q_{15}) \cdot c_{r13};$
$\frac{dQ_3}{dt} = \frac{P_{y1} - P_{y2} - P_{o3}}{m_{тр3}};$	$\frac{dQ_{11}}{dt} = \frac{P_{ГПА}(X_{ГПА}) - P_{y11} - P_{o11}}{m_{тр12} + m_{ГПА}(X_{ГПА})};$
$\frac{dQ_4}{dt} = \frac{P_{y2} - P_{в1} - P_{д4}(X_{пед}^{торм})}{m_{тр4}};$	$\frac{dQ_{12}}{dt} = \frac{P_{y11} - P_{y12} - P_{o13}}{m_{тр12}};$
$\frac{dQ_5}{dt} = \frac{P_{y2} - P_{в2} - P_{д5}}{m_{тр5}} \cdot H_{кл};$	$\frac{dQ_{13}}{dt} = \frac{P_{y12} - P_{y13} - P_{o13}}{m_{тр13}};$
$\frac{dX_{ГПА}}{dt} = \frac{Q_2}{A_{ГПА}}$	$\frac{dQ_{14}}{dt} = \frac{P_{y13} - P_{o11} - P_{o14}}{m_{тр14}};$
<p>если $P_{y2} \geq P_{кл}$, то $H_{кл} = 1$ иначе $H_{кл} = 0$</p>	$\frac{dQ_{15}}{dt} = \frac{P_{y13} - P_{в12} - P_{д15}}{m_{тр15}} \cdot H_{кл};$
<p>если $Q_2 \geq 0$, то $H_{обр} = 1$ иначе $H_{обр} = 0$</p>	$\frac{dX_{ГПА}}{dt} = \frac{Q_{11}}{A_{ГПА}}$
	<p>если $P_{y13} \geq P_{кл}$, то $H_{кл} = 1$ иначе $H_{кл} = 0$</p>

В таблице 1: P_{yi} – давление i -го упругого элемента; c_{ri} – коэффициент гидравлической жесткости на i -том участке; Q_i – расход жидкости на i -том участке; $X_{ГПА}$ – ход поршня гидропневмоаккумулятора ($0 \leq X_{ГПА} \leq X_{max}$); $P_{ГПА}$ – давление в надпоршневом пространстве гидропневмоаккумулятора; m_{tri} – коэффициент гидравлической массы на i -том участке.

Составленные математические и динамические модели могут служить для создания гидравлических схем накопления, полезного использования энергии торможения и анализа работы любых мобильных машин.