

В.В. Венгер (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)

Науч. рук. **В.Б. Попов**, к.т.н., доцент

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

С целью улучшения транспортабельности, снижения стоимости перевозок и хранения, а также лучшей сохранности питательных веществ и витаминов корма уплотняют или прессуют.

В процессе взаимодействия рабочих органов с растительным материалом (РМ) можно выделить следующие этапы его сжатия:

– плотность сжимаемого материала возрастает от начальной γ_0 до максимальной γ_{max} , и увеличивается сопротивление сжатию (непосредственно сжатие);

– выдержка материала под давлением; при постоянной плотности происходит релаксация напряжений, т.е. давление со стороны сжатого материала на рабочий орган уменьшается;

– освобождение материала от нагрузки; плотность сжимаемого материала уменьшается от γ_{max} до конечной γ_k , что сопровождается снижением до нуля давления на рабочий орган.

Рассмотрим закономерности сжатия на каждом из этапов.

Предлагаемые многими исследователями эмпирические зависимости давления p от плотности γ сжимаемого материала [1] сводятся либо к параболическим вида $p = a\gamma^b$ либо к экспоненциальным вида $p = ae^{b\gamma}$, где a и b – эмпирические коэффициенты, зависящие от свойств деформируемого материала. Процессы, подчиняющиеся экспоненциальному закону, встречаются в природе технике особенно часто в тех случаях, когда интенсивность изменения какой-либо величины пропорциональна самой этой величине. Для нашего случая это может быть записано следующим образом:

$$\frac{dp}{d\gamma} = ap + b$$

Проинтегрируем эту зависимость в пределах изменения давления при деформации материала от 0 до p при изменении плотности от γ_0 до γ . После преобразования получим:

$$p = k[e^{a(\gamma-\gamma_0)} - 1] \quad (1)$$

Для качественного анализа процесса сжатия можно прибегнуть к наглядным аналогиям из области механических систем. Так как в нашем случае проявляются упругие свойства как скелета в целом, так и соб-

ственно материала, то упругопластические свойства позволяют в первом приближении представить РМ в виде модели (рисунок 1.), в которой пружины с податливостью E_1 и E_2 служат эквивалентом упругих свойств, а катаракт (наполненный вязкой жидкостью цилиндр, в котором перемещается поршень с отверстиями), включённый последовательно с одной из пружин – эквивалентом пластических свойств.

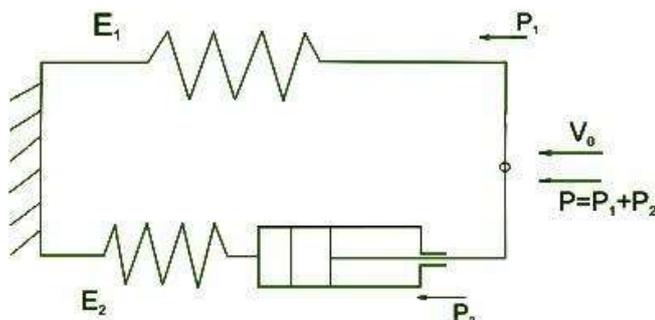


Рисунок 1 – Схема механической модели растительного материала

Составим уравнения перемещения точки О и определим p_1 и p_2 :

$$p_1 = \frac{V_0}{E_1} \cdot t \quad (2)$$

$$p_2 = \frac{V_0}{\alpha} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\alpha}{E_2} \cdot t}\right) \quad (5)$$

На основании уравнений 2 и 5 получаем:

$$p = \frac{V_0}{E_1} \cdot t + \frac{V_0}{\alpha} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\alpha}{E_2} \cdot t}\right) \quad (6)$$

проанализируем уравнение (6) при условии, что $x_{\max} = const$ и что модель деформирована на величину x_{\max} и выдерживается под давлением в течение определенного промежутка времени. Тогда выражения переписутся следующим образом:

$$\begin{aligned} x_{\max} &= p_{1 \max} \cdot E_1 \\ x_{\max} &= p_2 \cdot E_2 + \int_0^t \alpha \cdot p_2 dt \end{aligned} \quad (7)$$

Дифференцирование левой и правой частей второго уравнения системы (7) по времени дает:

$$p_2 \cdot E_2 + \alpha \cdot p_2 = 0$$

Решением этого уравнения является

$$p_2 = p_{2\max} \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{E_2}}$$

Тогда

$$p = \frac{x_{\max}}{E_1} + p_2 \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{E_2}} \quad (8)$$

Анализ уравнения (8) показывает, что при увеличении выдержки модели под давлением напряжения в ней уменьшаются, стремясь к постоянной величине:

$$p_2 = \frac{x_{\max}}{E_1}$$

Происходит релаксация напряжений: процесс изменения их во времени как результат нарастания пластической деформации. Характер изменения напряжений в модели с увеличением выдержки её при постоянной деформации графически показан на рисунке 2.

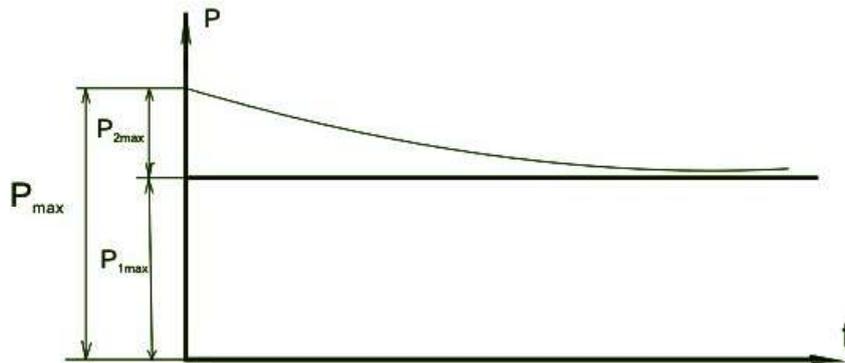


Рисунок 2 – Зависимость напряжении p в модели от времени t выдержки при постоянной деформации

После сжатия до максимальной плотности γ_{\max} материал обладающий упругими свойствами, расширяется, и плотность его достигает конечной γ_k . В этот период на рабочий орган действует давление, изменяющееся от максимального при γ_{\max} до нуля при γ_k . Введем следующие критерии изменения плотности при сжатии:

$$\lambda = \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_0} - \text{коэффициент сжатия};$$

$$\lambda_1 = \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_k} - \text{коэффициент восстановления.}$$

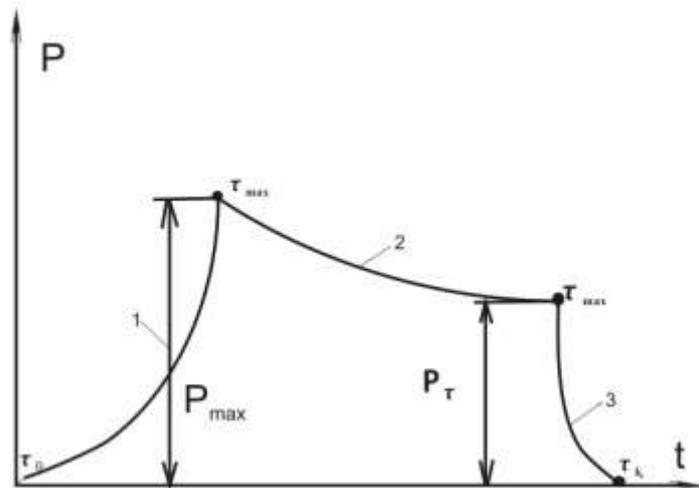
Зависимость между коэффициентами может быть выражена следующим образом:

$$\lambda_1 = \frac{\lambda}{\alpha + \beta},$$

После преобразований получим:

$$\gamma_k = \alpha_0 \gamma_0 + \beta_0 \gamma_{\max} + \alpha_t t (\gamma_{\max} - \gamma_0) \quad (9)$$

Установлены следующие зависимости: давления, необходимого для сжатия материала, от начальной и максимальной плотности; конечной плотности материала от его начальной максимальной плотности, а также от времени выдержки материала под давлением; релаксации напряжения от максимального давления; изменения давления со стороны сжимаемого материала на рабочий орган в период восстановления материала. На рисунке 3 приведена диаграмма полного цикла сжатия растительных материалов.



1 – сжатие; 2 – релаксация; 3 – восстановление

Рисунок 3 – Диаграмма полного цикла сжатия растительных материалов

Выводы: Процесс сжатия РМ состоит из этапов: непосредственное сжатие, релаксация напряжений, восстановление. Найденные зависимости на каждом этапе позволяют определить нагрузки на рабочие органы различных машин, предназначенных для сжатия растительных материалов и служат исходными данными для технологических, энергетических и прочих расчетов различных рабочих органов пресс-подборщиков, брикетировщиков, плющилок и других машин, деформирующих растительные материалы.

Литература

1. Кормоуборочные машины: Теория, конструкция, расчет И. А. Долгов ; Дон. гос. техн. ун-т, Ростов н/Д ДГТУ 1996.