УДК 624.046

Пелех А.Б., к.т.н., доц. кафедры СКМ
Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина
Халимендик А.В., к.т.н., доц. каф. СГГМ, Мясников И.В., асп. каф. СГГМ
Национальный технический университет «Днипровская политехника», г. Днепр, Украина

К ВОПРОСУ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Деревянные конструкции широко используются в настоящее время в гражданском, промышленном и шахтном строительстве (в последнем случае – в качестве крепи).

При этом деревянные элементы несущих конструкций зданий и сооружений обладают реологическими свойствами ползучести, релаксации и длительной прочности [1]. В качестве иллюстрации к сказанному на рис. 1 представлены характеристики ползучести, рассчитанные по формуле:

$$\varphi(t)=\frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon^{y}},$$

для различных видов действующих в конструкциях напряжений. Здесь $\varepsilon(t)$ – деформация образца с момент времени t, а ε^{y} – то же, упругая.

Также известно, что реологические свойства древесины (в том числе скорость и величина деформаций ползучести) существенно зависят от ее влажности и температуры [2, 3, 4, 5].

Опыт эксплуатации деревянных конструкций свидетельствует о том, что при температурном нагреве свыше 20^0С прочность древесины снижается, а деформативность возрастает. Этим же объясняется провисание деревянных конструкций в жаркие дни. Иллюстрацией к сказанному служат полученные одним из авторов настоящей работы (А. С. Пелехом) результаты испытаний клееной колоны, в ходе которых фиксировались прогибы ее центра и распределение по сечению колонны (рис. 2).

Аналогичный эффект достигается при повышении влажности древесины [2, 5].

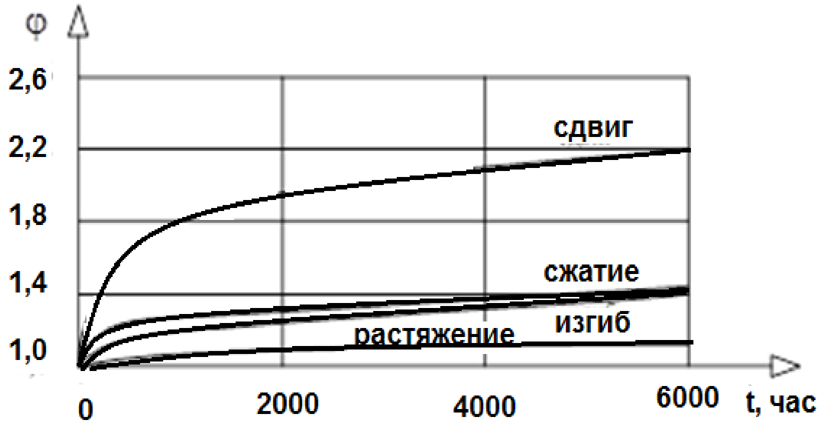

Рис. 1. Характеристики ползучести древесины в зависимости от вида нагрузки при постоянной температуре и влажности

При проектировании деревянных строительных конструкций и временной крепи подземных горных выработок важное значение имеет вопрос обеспечения устойчивости нагруженных вертикальными силами сжатых элементов. При этом помимо общеизвестных (гибкость сжатого элемента, его модуль упругости (или деформации), момент инерции сечения) также следует учитывать такие факторы:

– время действия осевой силы;
– влажность деревянной конструкции;
– ее температуру.

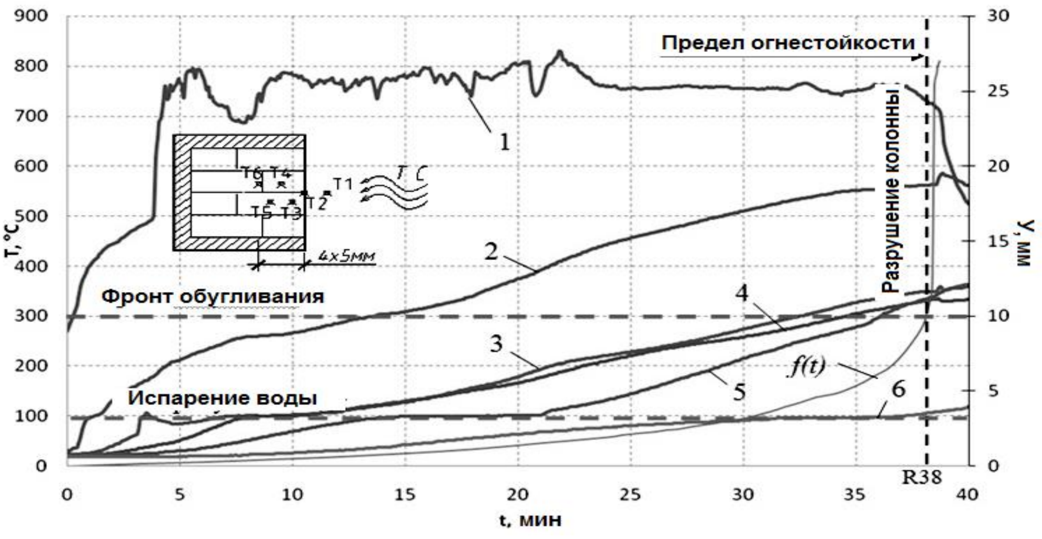

Рис. 2. График зависимости прогиба колонны от времени (функция $y(t)$*, мм) и показания термопар, расположенных в различных местах сечения колонны (кривые 1-6)*

В действующих в настоящее время строительных нормах эти факторы весьма приближенно учитывают путем введения некоторых эмпирических коэффициентов, которые, естественно, не позволяют с достаточной для нужд проектирования учитывать перечисленные выше факторы.

На наш взгляд, один из вариантов решения проблемы является получение теоретических решений задачи о критической нагрузке на центрально – сжатую деревянную стойку в рамках той или иной реологической модели материала (т.е. древесины).

В настоящей работе представлены результаты теоретических исследований, направленных на определение критической нагрузки на центрально – сжатый деревянный стержень, обладающий вязко – упругими свойствами. На наш взгляд, такое допущение о свойствах древесины вполне приемлемо в том случае, когда не происходит разгрузки сжатого элемента.

Для решения задачи используем представленную на рис. 3 расчетную схему.

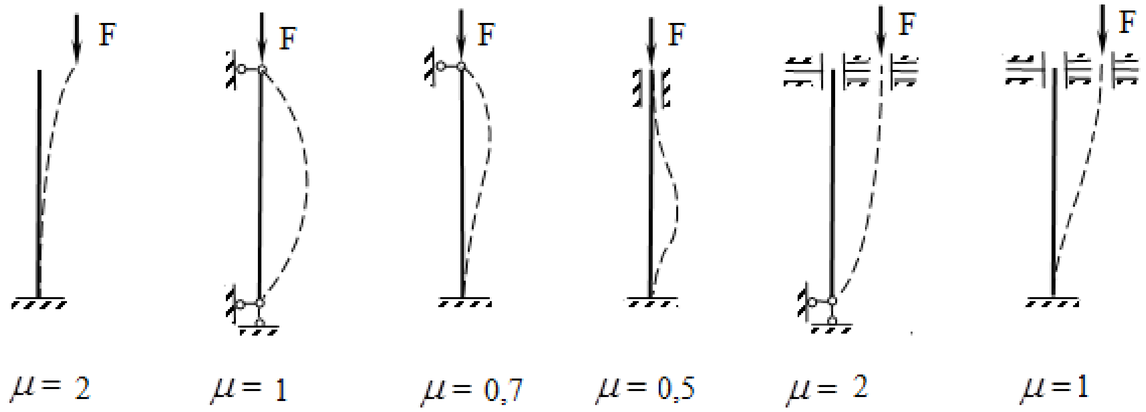

Рис. 3. Схемы к определению критической силы на сжатый стержень

Если стержень обладает упругими свойствами, то, согласно [1], значение критической силы равно:

$$F_{kp} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu \cdot L)^2}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала стержня; I – момент инерции его сечения; L – длина; μ – коэффициент, зависящий от условий закрепления концов стержня (см. схему на рис. 3).

Для учета реологических свойств используем принцип Вольтерра, суть которого заключается в том, что упругие деформационные константы следует заменить соответствующими интегральными операторами, которые описывают свойство ползучести [6].

Из (1) имеем:

$$F_{kp}(t)=\frac{\pi^2\cdot E\cdot I}{(\mu\cdot L)^2\cdot\left(1+\tilde{K}\right)}=\frac{\pi^2\cdot E\cdot I}{(\mu\cdot L)^2}\cdot\left(1-\tilde{R}\right),$$

Здесь $\tilde{K}$ – ядро ползучести древесины, а $\tilde{R}$ – его резольвента [5].

Далее найдем закон изменения критической силы во времени в предположении о том, что ядро ползучести имеет простейший вид:

$$K(t,\tau)=\delta(w,T)\cdot\exp\left[-\delta_1(w,T)\cdot(t-\tau)\right],$$

где $\delta(w,T)$ *и* $\delta_1(w,T)$ – параметры ядра ползучести, параметрически зависящие от влажности древесины w и ее температуры T; t – время; τ – имеющий размерность времени параметр.

Решение задачи ищем в области преобразований Лапласа по временной переменной t. Имеем:

$$\begin{aligned}F_{kp}(\omega)&=\frac{1}{\omega}\frac{\pi^2\cdot E\cdot I}{(\mu\cdot L)^2\cdot\left[1+\frac{\delta(w,T)}{\omega+\delta_1(w,T)}\right]}\fallingdotseq F_{kp}(t)=\\&=\frac{\pi^2\cdot E\cdot I}{(\mu\cdot L)^2}\cdot\frac{\delta_1(w,T)+\delta(w,T)\cdot e^{-\left[\delta_1(w,T)+\delta(w,T)\right]\cdot t}}{\delta_1(w,T)+\delta(w,T)}\end{aligned}. \qquad (2)$$

Здесь ω – параметр одностороннего преобразования Лапласа по переменной t; $F_{kp}(\omega)$ – изображение по Лапласу зависимости критической силы от времени; $F_{kp}(t)$ – оригинал изображения критической силы.

Из (2) вытекает, что в процессе ползучести (т.е. при $t\to\infty$) критическое значение изменится в $k=\delta_1(w,T)/\left[\delta_1(w,T)+\delta(w,T)\right]$ раз. Таким образом понижающий модуль упругости древесины коэффициент может быть установлен по кривым ее ползучести при различных влажности и температуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Офицерова Л. И. Конструкции из дерева и пластмасс. Курс лекций для студентов строительных специальностей. Часть 1. – Томск: STT. 2005 – 128 с.
2. Pelekh A.B. The question of modeling the creep behavior of wood under high ambient temperatures. Sciences of Europe, Praha, VOL 2, No 25 (2018), s 40–44.

3. Горбачева, Г. А. Деформационные превращения древесины при изменении нагрузки, влажности и температуры. Реферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва: 2004 – 21. с.

4. Вольтерра В. Теория функционалов, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1982. – 304 с.

5. Савин Г.Н., Рушицкий Н.И. О применимости принципа Вольтерра. Механика деформируемых тел и конструкций. - М.: Машиностроение, 1975. – С. 431-436.

6. Тимошенко С.П., Гудьир Дж. Теория упругости. - М: Наука, 1975. – 576 с.