

Ж
2013

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»
МГУПС (МИИТ)**

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**НЕДЕЛЯ НАУКИ – 2013
«НАУКА МИИТа – ТРАНСПОРТУ»**

Т Р У Д Ы

**Под общей редакцией
профессора В.М. Круглова**

Москва – 2013

УДК 656.2

**Труды научно-практической конференции Неделя науки – 2013
«Наука МИИТа – транспорту». – М.: МГУПС (МИИТ), 2013.**

Представлены тезисы докладов студентов, аспирантов
и молодых ученых – участников научно-практической
конференции Неделя науки – 2013 «Наука МИИТа –
транспорту», проходившей в 2013 г.

Компьютерная верстка С.У. Быкова

ISBN 978-5-7876-0215-9



9 785787 602159

© Московский государственный университет
путей сообщения (МГУПС (МИИТ), 2013

СТРОИТЕЛЬСТВО И ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ И УГЛОВ ПОВОРОТА С УЧЁТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ

АНДРЕЯНОВА Е.О., БУШИН О.Ю., ОЛЕНИЧ Д.И.

Напряжения и деформации, возникающие в конструкции, изменяются во времени, даже если нагрузки остаются постоянными, то есть происходит так называемая ползучесть материала. Графики зависимости относительной деформации от времени при постоянных напряжениях и температуре называются кривыми ползучести. Эти кривые, как правило, имеют три участка рис.1.

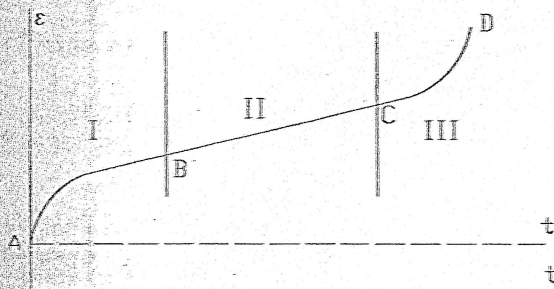


Рис.1 Кривая ползучести

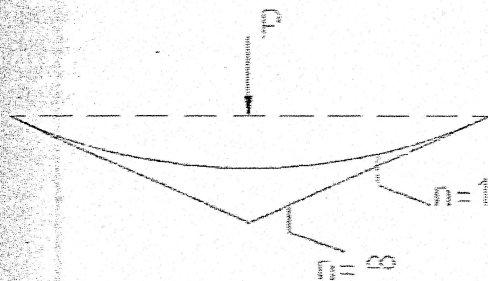


Рис.2 Вид прогибов

Зависимости скорости деформации от напряжений могут быть описаны следующими соотношениями:

$$\dot{\varepsilon} \sigma = A \sigma^n, \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon}(\sigma) = k \exp \frac{\sigma}{\sigma_0}, \quad (2)$$

$$\dot{\varepsilon}(\sigma) = k \operatorname{sh} \frac{\sigma}{s}, \quad (3)$$

где

A, k, n, s – постоянные величины при данной температуре.

Для вычислений будем пользоваться соотношением (1) для установившейся скорости ползучести:

$$\dot{\varepsilon} = A \sigma^n. \quad (4)$$

Пользуясь известной формулой из теории изгиба, и учитывая соотношение (4), получаем зависимость для скорости деформации:

$$\dot{\varepsilon} = \dot{x} y \quad (5),$$

где $x = \frac{1}{\rho}$, y – расстояние до нейтрального слоя.

$$\text{Так как } \dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad A \sigma^n = \dot{x} y, \quad (6),$$

$$\sigma = \left(\frac{\dot{x} y}{A} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad (7)$$

Изгибающий момент в сечении: $M = \left(\frac{\dot{x}}{A} \right)^{\frac{1}{n}} \int_F y^{\frac{n+1}{n}} dF$, поскольку

$$M = \int_F \sigma y dF = \int_F \left(\frac{\dot{x} y}{A} \right)^{\frac{1}{n}} y dF \quad (8)$$

Введем понятие обобщенного момента инерции J_{nx} относительно оси x.

$$J_{nx} = \int_F y^{\frac{n+1}{n}} dF. \quad (9)$$

С учётом формулы (9) $M = \left(\frac{\dot{x}}{A} \right)^{\frac{1}{n}} J_{nx}$,

$$\dot{x} = \left(\frac{M}{J_{nx}} \right)^n A. \quad (10)$$

Сопоставляя (7) и (10) имеем:

$$\dot{x} = \left(\frac{M}{J_{nx}} \right)^n A. \quad (11)$$

Т.к. $\frac{1}{\rho} = x = \dot{x} t = \frac{d^2 V}{dz^2}$, где V – прогиб оси балки.

Дифференциальное уравнение упругой оси будет иметь вид:

$$\frac{d^2 V}{dz^2} = \dot{x} t = \left(\frac{M}{J_{nx}} \right)^n A t. \quad (12)$$

Производная от прогиба:

$$\frac{dV}{dz} = \int_1 \left(\frac{M}{J_{xx}}\right)^n Atdz + C_1 \quad (13).$$

Интегрируя (13), найдём прогиб:

$$V = \int_1 dz \int_1 \left(\frac{M}{J_{xx}}\right)^n Atdz + C_1 z + D_1 \quad (14)$$

Константы C и D определяются из граничных условий и условий задачи.

Граничные условия: $z = 0$: $\frac{dV}{dz} = \varphi_0$, $C = \varphi_0$, $V = V_0$, $D = V_0$, тогда окончательно:

$V = \int_1 dz \int_1 \left(\frac{M}{J_{xx}}\right)^n Atdz + \varphi_0 z + V_0$, $\varepsilon = A\sigma^n$, $\varepsilon = \int A\sigma^n dt + c$, где $c = \varepsilon_0$ или $\varepsilon = \int A\sigma^n dt + \varepsilon_0$, после интегрирования найдём: $\varepsilon = B\sigma^n$, где $B = f(t)$ – функция от времени. Окончательно получим формулы для вычисления прогибов по участкам:

$$Z_1 = \frac{P^n \theta (2x-3l)^{n+2}}{2^{n(n+1)} J^n (n+1)(n+2)} + \frac{P^n \theta l^{n+1} (2x-l) \left[\frac{(-1)^{n+1}}{2} - 1 \right]}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)} - \frac{P^n \theta l^{n+2}}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)} \left[(-1)^{n+2} \left(\frac{n+3}{2n+4} \right) - 1 \right]$$

$$Z_2 = \frac{P^n \theta (3l-2x)^{n+2}}{2^{n(n+1)} J^n (n+1)(n+2)} - \frac{P^n \theta l^{n+1} (3l-2x) (-1)^{n+1}}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)} +$$

$$+ \frac{P^n \theta (-l)^{n+2}}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)} \left[1 - \frac{1}{2(n+2)} \right].$$

Задача.

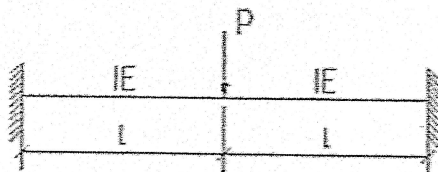


Рис.3 Схема балки

Выполним, в соответствии с изложенной теорией, вычисление прогиба для балки заделанной с двух сторон. Раскрывая статическую неопределимость балки методом сил, найдём лишние неизвестные: $X_1 = \frac{P}{2}$, $X_2 = \frac{Pl}{2}$.

Запишем уравнение упругой линии балки по участкам z_1^{II} и z_2^{II} :

$$z_1^{\text{II}} = \frac{\theta}{J_{xx}^n} \left(\frac{P}{2} x - \frac{Pl}{4} \right)^n = \frac{\theta}{2^{2n}} \left(\frac{P}{J} \right)^n (2x-l)^n,$$

$$z_2^{\text{II}} = \frac{P^n \theta}{2^{2n} J^n} (3l-2x)^n,$$

где θ – функция времени и температуры. Интегрируя уравнения упругой линии получим уравнения для углов поворота:

$$z_1^{\text{I}} = \frac{\theta}{2^{2n+1}} \left(\frac{P}{J} \right)^n \frac{(2x-l)^{n+1}}{n+1} + C_1,$$

$$z_2^{\text{I}} = -\frac{P^n \theta (3l-2x)^{n+1}}{2^{2n+1} J^n (n+1)} - C_3.$$

После повторного интегрирования получим формулы для прогибов:

$$z_1 = \frac{\theta (2x-l)^{n+2}}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)(n+2)} \left(\frac{P}{J} \right)^n + C_1 (2x-l)^n + C_2,$$

$$z_2 = \frac{P^n \theta (3l-2x)^{n+2}}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)(n+2)} + C_3 (3l-2x) + C_4.$$

Произвольные постоянные найдем из граничных условий.

Граничные условия:

$$x=0 \quad z_1^{\text{I}} = 0 \quad z_1 = 0, \quad x=l \quad z_1^{\text{I}} = z_2^{\text{I}} \quad z_1 = z_2,$$

$$C_1 = \frac{P^n \theta l^{n+1}}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)} \left[\frac{(-1)^{n+1}}{2} - 1 \right];$$

$$C_2 = -\frac{P^n \theta l^{n+2}}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)} \left[(-1)^{n+2} \left(\frac{1}{2n+4} + \frac{1}{2} \right) - 1 \right];$$

$$C_3 = -\frac{P^n \theta l^{n+1}}{2^{2n} J^n (n+1)} \frac{(-1)^{n+1}}{2};$$

$$C_4 = -\frac{P^n \theta (-l)^{n+2}}{2^{2n} J^n (n+1)} \left[1 - \frac{1}{2(n+2)} \right]$$

Окончательные выражения для прогибов на каждом из участков балки имеют вид:

$$\text{I} \quad Z_1 = \frac{P^n \theta (2x-3l)^{n+2}}{2^{n(n+1)} J^n (n+1)(n+2)} + \frac{P^n \theta l^{n+1} (2x-l) \left[\frac{(-1)^{n+1}}{2} - 1 \right]}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)} - \frac{P^n \theta l^{n+2}}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)} \left[(-1)^{n+2} \left(\frac{n+3}{2n+4} \right) - 1 \right]$$

$$\text{II} \quad Z_2 = \frac{P^n \theta (3l-2x)^{n+2}}{2^{n(n+1)} J^n (n+1)(n+2)} - \frac{P^n \theta l^{n+1} (3l-2x) (-1)^{n+1}}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)} + \frac{P^n \theta (-l)^{n+2}}{2^{2(n+1)} J^n (n+1)} \left[1 - \frac{1}{2(n+2)} \right]$$

Вывод: таким образом полученной формулой для прогибов с учетом их изменения с течением времени. При этом возможен учет изменения температуры. По этим формулам можно вычислять прогибы с учетом ползучести материала.

РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ИХ СООРУЖЕНИИ БЕСТРАНШЕЙНЫМ СПОСОБОМ

БАЯНДУРОВА А.А., НОРМАН А.Г.

Исследование выполнено с целью проведения расчета трубопроводов на устойчивость движения. Трубопровод рассматривается как тело переменной массы движущейся по окружности с постоянной скоростью. Задача исследования устойчивости движения смоделирована как цикл задач в положении равновесия по числу внедряемых в породу секций трубопровода.