

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ ГИДРОЦИЛИНДРОВ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ УСТАНОВОК ПРИ УСЛОВИЯХ ДОГРУЗКИ И РАЗГРУЗКИ

Мамедов В.Т., Ахмедов А.С.

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

В статье исследовалась ползучесть гидроцилиндров в нефтепромысловых установках при условиях загрузки и разгрузки. С этой целью использован метод А.М. Жукова закона ползучести, который учитывает деформации и скорость ползучести. Кроме этого, в указанной уравнение ползучести, также имеются постоянные, зависящие от механических свойств материала, температуры и скорости изменения, напряжение, описывающие относящихся к нагрузке и разгрузке в системе гидроцилиндра.

Ключевые слова: гидроцилиндр, гидравлические усилия, температура среды, деформации, ползучесть материала.

Постановка вопроса. Как известно, во всех без исключения классических теориях пластичности, ввиду ее малости (незначительности, мало значимости), деформация ползучести не учитывается [1]. Однако, проводимые экспериментальные исследования показывают, что при малых постоянных скоростях изменения напряжения вполне удовлетворительные, согласно с опытом имеются следующие зависимости ползучести:

$$\varepsilon_{пол} \cdot \varepsilon^\alpha = A [\sigma_o \pm \dot{\sigma} (t - t_o)]^n; \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon}_{пол} \cdot \varepsilon^\alpha = B e^{k[\sigma_o \pm \dot{\sigma}(t-t_o)]} \quad (2)$$

ε – деформация ползучести;

$\dot{\varepsilon}_{пол} = \frac{d\varepsilon}{dt}$ – скорость деформации ползучести;

σ_o – напряжение, при котором изучается ползучесть;

t, t_o – время ползучести;

t_o – первоначальный промежуток времени ползучести в гидроцилиндре;

A, B, σ, K, n – постоянные, зависящие от механических свойств материала цилиндра и температуры в цилиндре;

$\dot{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt}$ – скорость изменения напряжения.

Знак (+) относится к погрузке, а (-) – к разгрузке.

Решение задачи. Рассмотрим устойчивость цилиндра длиной l нагруженного с постоянной силой $Q_{\Delta p}$ ($Q_{\Delta p} = \Delta p \cdot S_{сеч.цил.}$) с высотой $2h$ при постановке законов ползучести в виде (1) и (2);

$$\varepsilon_{пол} \cdot \varepsilon^\alpha = A [\sigma_o + \dot{\sigma} (t - t_o)]^n - h \leq y \leq y_o \quad (3)$$

$$\varepsilon_{пол} \cdot \varepsilon^\alpha = A [\sigma_o - \dot{\sigma} (t - t_o)]^n y_o \leq y \leq h \quad (4)$$

где y_o – расстояние линии раздела области догрузки и разгрузки (нейтральной линии) от оси поперечного сечения.

Интегрируя уравнение (3) и (4) при условии $\dot{\sigma} = const$ и $\varepsilon_{пол.} = \dot{\varepsilon}_o$, в случае $t=t_o$ получаем:

$$\varepsilon_{пол.} = \left\{ \dot{\varepsilon}_{о пол.}^{\frac{1}{m}} + \frac{A \sigma_o^{n+1}}{m(n+1) \dot{\sigma}} \left[-1 + \left(1 + \frac{\dot{\sigma}}{\sigma_o} (t - t_o) \right)^{n+1} \right] \right\}^m \quad (5)$$

$$\varepsilon_{пол.} = \left\{ \dot{\varepsilon}_{о пол.}^{\frac{1}{m}} + \frac{A \sigma_o^{n+1}}{m(n+1) \dot{\sigma}} \left[1 - \frac{\dot{\sigma}}{\sigma_o} (t - t_o) \right] \right\}^m \quad (6)$$

где $m = \frac{1}{\alpha + 1}$, $\dot{\varepsilon}_{о пол.} - t_o$ деформация ползучести цилиндра при нагружении за промежуток времени t_o .

$$\varepsilon_{о пол.} = \left(\frac{A \sigma_o^n t_o}{m} \right) \quad (7)$$

Используя (7) при обозначении $T = t - t_o$ уравнение (5) и (6) перепишем в виде:

$$\varepsilon_{пол.} = \left[\frac{A \sigma_o^{n+1}}{m \cdot \dot{\sigma}} \right]^m \cdot \left\{ \frac{\dot{\sigma}}{\sigma_o} t_o + \frac{1}{n+1} \left(1 + \frac{\dot{\sigma}}{\sigma_o} \cdot T \right)^{n+1} \right\}^m \quad (8)$$

$$\varepsilon_{пол.} = \left[\frac{A \sigma_o^{n+1}}{m \cdot \dot{\sigma}} \right]^m \cdot \left\{ \frac{\dot{\sigma}}{\sigma_o} t_o + \frac{1}{n+1} \left(1 - 1 - \frac{\dot{\sigma}}{\sigma_o} \cdot T \right)^{n+1} \right\}^m \quad (9)$$

Так как $\frac{\dot{\sigma}}{\sigma_o} \ll 1$ и имеет определенное значение при устойчивости, то можно ограничиться несколькими членами при разложении $\left(1 + \frac{\dot{\sigma}}{\sigma_o} \cdot T \right)^{n+1}$.

Если ограничиться тремя членами, то будем иметь:

$$\varepsilon_{пол.} = \left[\frac{A \sigma_o^n}{m} \right]^m \cdot \left[t_o + T + \frac{Tn}{2n_o} \cdot \Delta \sigma \right], -h \leq y \leq y_o \quad (10)$$

$$\varepsilon_{пол.} = \left[\frac{A \sigma_o^n}{m} \right]^m \cdot \left[t_o + T - \frac{Tn}{2\sigma_o} \cdot \Delta \sigma \right], -y_o < y \leq h \quad (11)$$

где $\Delta \sigma = \sigma \cdot T$ – дополнительное напряжение.

Определим дополнительное напряжение из формул (10) и (11):

$$\Delta \sigma = \frac{2m}{\Delta \sigma_o^{n-1} \cdot nT} \cdot \varepsilon_{пол.}^{\frac{1}{m}} - \frac{2\sigma_o (t_o + T)}{nT} n p u - h y y_o \quad (12)$$

$$\Delta \sigma = \frac{2\sigma_o (t_o + T)}{nT} - \frac{2m}{\Delta \sigma_o^{n-1} \cdot nT} \cdot \varepsilon_{пол.}^{\frac{1}{m}} n p u y_o \leq y \leq h \quad (13)$$

Примем $t=0$ и тогда уравнения (12) и (13) примут нижеследующий вид:

$$\Delta \sigma = \frac{\varepsilon_{пол.}^{n+1} - \varphi t}{t} n p u - h \leq y \leq y_o \quad (14)$$

$$\Delta \sigma = \frac{\varphi t - \varepsilon_{пол.}^{n+1}}{t} n p u y_o \leq y \leq h \quad (15)$$

где $\Psi = \frac{2m}{A n \sigma_o^{n-1}}, \varphi = \frac{2\sigma_o}{n}$

Имея ввиду формулы (14), (15) в формуле (2) после аналогичных преобразований получаем уравнения (14) и (15) в нижеследующем виде, при этом

$$\Psi = \frac{2m}{\varphi \cdot l^{k\sigma_o}}, \varphi = \frac{2}{k},$$

где $k = \frac{Q_{\Delta p} (At)^{\frac{1}{n}}}{b \cdot h}$

По нейтральной линии имеет место условие при $y = y_o, \Delta \sigma = 0$ (16)

По гипотезе плоских сечений имеем

$$\varepsilon_{пол.} = \varepsilon_{о пол.} + \varkappa y, \quad (17)$$

где $\varepsilon_{0\text{полз}}$ – деформации оси цилиндра, а \varkappa – соответствующая ей кривизна.

Из (16) и (17) с использованием (14) или (15) получим:

$$y_0 = \frac{1}{\varkappa} (-\varepsilon_{0\text{полз}})$$

$$(\varepsilon_{0\text{полз}} + \varkappa h)^{\frac{m+1}{m}} + (\varepsilon_{0\text{полз}} - \varkappa h)^{\frac{m+1}{m}} + 2 \left[\frac{\varphi}{\psi} \cdot \frac{m+1}{m} - (-\varepsilon_{0\text{полз}})^{-\frac{m+1}{m}} \right] = 0 \quad (19)$$

$$M = \frac{b \cdot \psi}{\varkappa^2 t} \left\{ \frac{m}{2m+1} \left[2\lambda^{\frac{2m+1}{m}} - (\varepsilon_{0\text{полз}} - \varkappa h)^{\frac{2m+1}{m}} - (\varepsilon_{0\text{полз}} - \varkappa h)^{\frac{2m+1}{m}} + \varepsilon_{0\text{полз}} \cdot \frac{m}{m+1} \cdot \right. \right. \\ \left. \left. \cdot [(\varepsilon_{0\text{полз}} + \varkappa h)^{\frac{2m+1}{m}} + (\varepsilon_{0\text{полз}} - \varkappa h)^{\frac{2m+1}{m}} - 2\lambda^{\frac{m+1}{m}}] + \frac{\varphi}{\psi} \cdot t \cdot [(\varkappa h)^2 - (\lambda - \varepsilon_{0\text{полз}})^2] \right\} \right\}, \quad (20)$$

где, M – изгибающий момент t , ψ , φ в случае (1) или (2) имеют, соответственно указанные выше значения.

Если ввести безразмерные величины

$$\varkappa^* = \varkappa \frac{bh^2}{(At)^{\frac{1}{n}} \cdot \varepsilon_{\text{полз}}}, \varepsilon_{0\text{полз}}^* = \varepsilon_{0\text{полз}} \cdot \frac{bh^2}{(At)^{\frac{1}{n}} \cdot Q_{\Delta p}}, M^* = M \cdot \frac{1}{Q_{\Delta p} \cdot h} n \mu (1)$$

$$u \varkappa^* = \varkappa \frac{bh^2}{Q_{\Delta p} \cdot h}, Q_{\Delta p}^* = \varepsilon_{0\text{полз}} \cdot \frac{bh^2}{Q_{\Delta p} \cdot h},$$

$M^* = M \cdot \frac{1}{Q_{\Delta p} \cdot h}$ при (2) то уравнения (19) и (20) преобразуется в вид:

$$(\varepsilon_{0\text{полз}}^* + \varkappa^*)^{\frac{m+1}{m}} + (\varepsilon_{0\text{полз}}^* - \varkappa^*)^{\frac{m+1}{m}} + 2 \left(\frac{\lambda}{r} \right)^{\frac{1}{m}} \times \left[\frac{m+1}{m} \cdot \frac{1}{\frac{1}{m}} \cdot \frac{\varphi}{\psi} \left(\frac{\lambda}{r} - \varepsilon_{0\text{полз}}^* \right) - \frac{\lambda}{r} \right] = 0 \quad (21)$$

$$M^* \cdot \varkappa^* 2 = \frac{bh\psi}{Q_{\Delta p} r^2 t} \left\{ \frac{m}{2m+1} \left[2 \left(\frac{\lambda}{r} \right)^{\frac{2m+1}{m}} - (\varepsilon_{0\text{полз}}^* + \varkappa^*)^{\frac{2m+1}{m}} - (\varepsilon_{0\text{полз}}^* - \varkappa^*)^{\frac{2m+1}{m}} \right] + \right. \\ \left. + \varepsilon_{0\text{полз}}^* - \frac{m}{m+1} \left[(\varepsilon_{0\text{полз}}^* + \varkappa^*)^{\frac{m+1}{m}} - (\varepsilon_{0\text{полз}}^* - \varkappa^*)^{\frac{m+1}{m}} - 2 \left(\frac{\lambda}{r} \right)^{\frac{2m+1}{m}} \right] + \frac{\varphi}{A} \cdot t \times \frac{1}{r^{\frac{1}{m}}} \left[\varkappa^{*2} - \left(\frac{\lambda}{r} - \varepsilon_{0\text{полз}}^* \right)^2 \right] \right\} \quad (22)$$

где r – принимает значение $Q_{\Delta p} (At)^{\frac{1}{n}} / bh$ и $Q_{\Delta p} k / bh$, соответственно, при использовании (1) и (2)

Если против координата в виде $V=v/h$, $\xi=z/l$ и рассматривая середины сечение условия закрепленного цилиндра уравнения (21) и (22) преобразуем в вид:

$$(\varepsilon_{0\text{полз}}^* + \pi^2 W_0)^{\frac{m+1}{m}} (\varepsilon_{0\text{полз}}^* - \pi^2 W_0)^{\frac{m+1}{m}} + 2 \left(\frac{\lambda}{r} \right)^{\frac{1}{m}} \times \left[\frac{m+1}{m} \cdot \frac{\varphi}{\psi} \cdot \frac{1}{\lambda^{\frac{1}{m}}} \cdot \left(\frac{A}{r} - \varepsilon_{0\text{полз}}^* \right) - \frac{\lambda}{r} \right] = 0 \quad (23)$$

$$\pi^4 W^3 - \frac{bh\psi}{Q_{\Delta p} r^2 t} \left\{ \frac{m}{2m+1} \left[2 \left(\frac{\lambda}{r} \right)^{\frac{2m+1}{m}} - (\varepsilon_{0\text{полз}}^* + \pi^2 W_0)^{\frac{2m+1}{m}} - (\varepsilon_{0\text{полз}}^* - \pi^2 W_0)^{\frac{2m+1}{m}} (\varepsilon_{0\text{полз}}^* - \pi^2 W_0) \right] + \right. \\ \left. + \varepsilon_{0\text{полз}}^* \cdot \frac{m}{m+1} \left[(\varepsilon_{0\text{полз}}^* + \pi^2 W_0)^{\frac{m+1}{m}} + (\varepsilon_{0\text{полз}}^* - \pi^2 W_0)^{\frac{m+1}{m}} - 2 \left(\frac{\lambda}{r} \right)^{\frac{m+1}{m}} + \frac{\varphi}{\psi} + \frac{1}{r^{\frac{1}{m}}} \cdot [(\pi^2 W_0)^2 - \left(\frac{\lambda}{r} - \varepsilon_{0\text{полз}}^* \right)^2] \right] \right\} = 0 \quad (24)$$

где W_0 – начальное значение безразмерного прогиба.

Исключив из (1,23) и (1,24) безразмерную деформацию оси цилиндра ε_0^* можно найти зависимости начальной деформации от времени. Ввиду нелинейности этих уравнений, исключив ε_0^* аналитическим путём затруднительно, для этого можно использовать численные методы решения систем алгебраических уравнений.

Имеем два уравнения (1,23) и (1,24) с тремя переменными: W_0 , ε_0^* и t . Решая (1,23) относительно ε_0^* , а (1,24) относительно W_0 , в общем виде [корн...] будет иметь:

$$\varepsilon_0^* = \varphi_1(\varepsilon_0^*, W_0, t)$$

где $\lambda = \sqrt[n+1]{A(\alpha+1)\sigma_0^n \cdot t}$ и $\lambda = \sqrt[n+1]{B(\alpha+1)t^{k\sigma_0} \cdot t}$, соответственно (1) и (2).

Считая сжимающие напряжения положительными, из условий равенства суммы моментов внутренних сил относительно нейтральной линии внешнему моменту, получим:

$$W_0 = \varphi_2(P_0^*, W_0, t) \quad (1.25)$$

Если рассматривать некоторую последовательность значений времени $t_1, t_2 \dots t_n$ то для каждого из них получим систему двух нелинейных алгебраических уравнений с двумя переменными:

$$\varepsilon_0^* = \varphi_1(P_0^*, W_0) \\ W_0 = \varphi_2(P_0^*, W_0) \quad (1.26)$$

Решая систему (1,26) численно методом инерции, для последовательных значений P_0^*, W_0 . Строим график зависимости $W_0 = W_0(t)$ по данным вычислений можно определить критическое время.

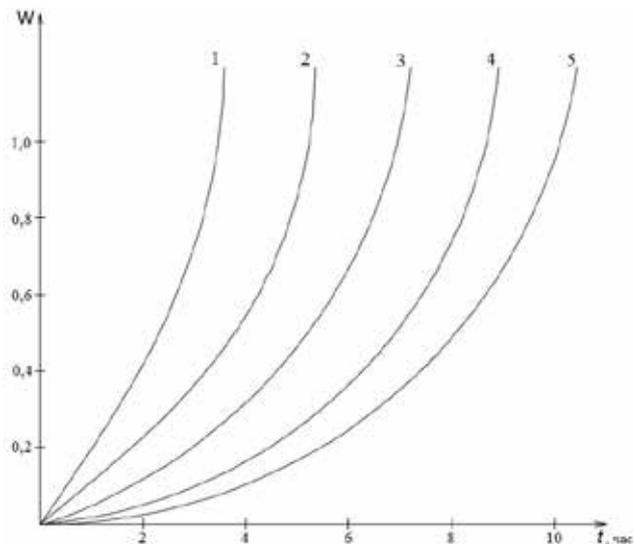


Рис. 1. Зависимость безразмерной деформации от ползучести времени по формулам (1.1) α и n – постоянные зависящие

Вычисления производились для следующих значений:

$$\begin{cases} 1) \alpha = 1 \\ 2) \alpha = 1,5 \quad n=2, 4, 6, 8, 10, 12 \\ 3) \alpha = 2 \end{cases}$$

Также для исходных данных, $W_0 = 0,1$ мм; $P_0 = 50$ N, (при $t=0$) шаг $\Delta t = 0,01$; $l = 2140$ мм.

На рисунке 1 приводится график для некоторых значений α и n , построенный по данным вычислений, соответственно, для зависимости ползучести (1,1) и (1,2).

От механических свойств материала и температуры гидроцилиндра:

- 1 - $\alpha=1, n=12$
- 2 - $\alpha=1,5 n=12$
- 3 - $\alpha=2, n=12$
- 4 - $\alpha=2, n=6$

Выводы.

1. Аналитическим путем получены зависимости ползучести для гидроцилиндра.

2. Получено, что критическое время ползучести очень чувствительно изменением постоянных α и n , зависящих от механических свойств материала и температуры среды гидроцилиндров с увеличением n оно сильно падает, а при увеличении α возрастает.

Список литературы:

- Mamedov V.T. Stress distribution in elastic elements with eccentric holes// Azerbaijan Academy of sciences proceedings of institute of Mathematics and Mechanics. X(XVIII) Vol., Baku 1999, p. 211-218.
- Mammadov V.T., Ahmedov A.S., Aslanov J.N. Investigation of stress-deformed state of coated hydrocylinders, exposed to pressure and temperature changes. International journal of current research, www.journalcra.com. Vol 08. Issue: 11. 2016. Researcher ID: C-9046-2014: <http://www.researcherid.com/rid/C-9046-2014>.
- Мамедов В.Т., Ахмедов А.С., Асланов Дж.Н. «Исследование упругой устойчивости гидроцилиндров объёмных аппаратов», «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук». № 10-3. М, 2016. www.publikacia.net. Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrichs Periodikal Directory» (издательство «Bowker», США).

Mammadov V.T., Ahmadov A.S.

Azerbaijan State Oil and Industry University

INVESTIGATION OF CALCULATION OF HYDROCYLINDERS OF OIL-PLANTING UNITS UNDER THE CONDITIONS OF LOADING AND UNLOADING

Summary

In the article was investigated the creep of hydraulic cylinders in oilfield installations under the loading and unloading conditions. For this purpose, was used A.M. Zhukov's creep law method, which takes into account the deformation, and the creep rate. Besides, in this creep equation there are also constants, depending on the mechanical properties of the material, temperature and rate of voltage change describing the loading and unloading in the hydraulic cylinder system.

Keywords: Hydraulic cylinder, hydraulic forces, medium temperature, deformation, creep of the material.