

УДК 624.072.2.001.57

В.В.ШЕВКО (БПИ)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОМОДЕЛИРОВАНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТИ ФЕРМ

Задачи о приспособляемости возникают при исследовании повторно-переменного нагружения в упругопластических системах. При решении задачи на основе теоремы Блейха—Мелана [1] найденное к моменту приспособляемости распределение усилий не всегда соответствует действительному. По отношению к перемещениям приспособившихся конструкций гарантированно могут быть определены лишь пределы их изменения.

В настоящей статье рассматривается задача определения напряженно-деформированного состояния приспособившихся ферм в зависимости от истории нагружения. Задача решается методом электро моделирования. Предлагается электронная схема-аналог для исследования приспособляемости ферм при известной истории нагружения.

Так как шарниры в узлах ферм являются не идеальными, то возможен эксцентриситет продольной силы. В связи с этим сжатые стержни ферм рассматриваются как внецентренно сжатые.

Концы сжатого стержня сближаются за счет укорочения и искривления его оси. Аппроксимированная зависимость "сближения

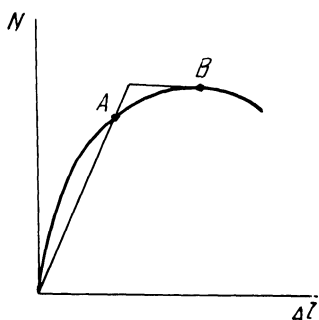


Рис. 1. Аппроксимированная зависимость $\Delta l = \varphi(N)$.

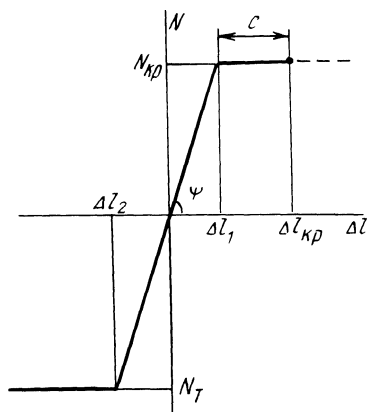


Рис. 2. Зависимость $\Delta l = \varphi(N)$.

концов стержня — продольная сила” $\Delta l = \varphi(N)$ показана на рис. 1. Точка А соответствует моменту перехода работы стержня из упругой в упругопластическую стадию, а точка В — потере устойчивости стержнем.

Зависимость между продольной силой и укорочением стержня принимается в соответствии с графиком (рис. 2). Среднее критическое напряжение $\sigma_{кр} = N_{кр}/F$, укорочение стержня, соответствующее моменту потери устойчивости $\Delta l_{кр}$ и длина горизонтальной площадки с определяются из зависимостей, предложенных в работах [2, 3].

Разработанная схема-аналог для исследования приспособляемости ферм показана на рис. 3. В качестве исходной принималась схема-аналог стержня фермы из упругопластического материала, предложенная в работе [4].

При работе стержня $i - k$, наклоненного под углом α к горизонтальной оси, проекции усилий по концам стержня на оси координат запишем в виде (положительным считается сжимающее усилие):

$$\begin{aligned} N_1 \cos \alpha &= EF \varepsilon \cos \alpha; & -N_k \cos \alpha &= -EF \varepsilon \cos \alpha; \\ N_1 \sin \alpha &= EF \varepsilon \sin \alpha; & -N_k \sin \alpha &= -EF \varepsilon \sin \alpha, \end{aligned} \quad (1)$$

где $E = \operatorname{tg} \psi$, $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{l} [(x_i - x_k) \cos \alpha + (y_i - y_k) \sin \alpha]$.

При работе стержня в пластической зоне усилие в нем равно:

$$\begin{aligned} \text{при сжатии} \quad N_{кр} &= F \sigma_{кр} = EF \xi_{кр}; \\ \text{при растяжении} \quad N_T &= -F \sigma_T = -EF \varepsilon_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Рассмотрим основные зависимости, характеризующие электронную схему-аналог стержня фермы.

При малых значениях потенциала узла С напряжение

$$U_C = \frac{g}{3(g+g_0)} (U_1 - U_2) + \frac{g_0}{3(g+g_0)} (U_3 - U_4),$$

а уравнения электрического тока имеют вид

$$I_1 = g U_C; \quad I_2 = -g U_C; \quad I_3 = g_0 U_C; \quad I_4 = -g_0 U_C. \quad (3)$$

При значениях $U_C = e_1$ или $U_C = e_2$ открываются диоды D_1 или D_2 , а соответствующие этим двум значениям потенциала узла С уравнения электрического тока имеют вид:

$$\begin{aligned} I_1 &= g e_1; & I_2 &= -g e_1; & I_3 &= g_0 e_1; & I_4 &= -g_0 e_1; \\ I_1 &= -g e_2; & I_2 &= g e_2; & I_3 &= -g_0 e_2; & I_4 &= g_0 e_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Коэффициенты в механических (1), (2) и электрических (3), (4) уравнениях связаны формулами:

$$\begin{aligned} g &= \gamma_g 3(\cos^2 \alpha + \sin \alpha \cos \alpha) \frac{EF}{l}; & g_0 &= \gamma_g 3(\sin^2 \alpha + \sin \alpha \cos \alpha) \frac{EF}{l}; \\ g_0 &= g \operatorname{tg} \alpha. \end{aligned}$$

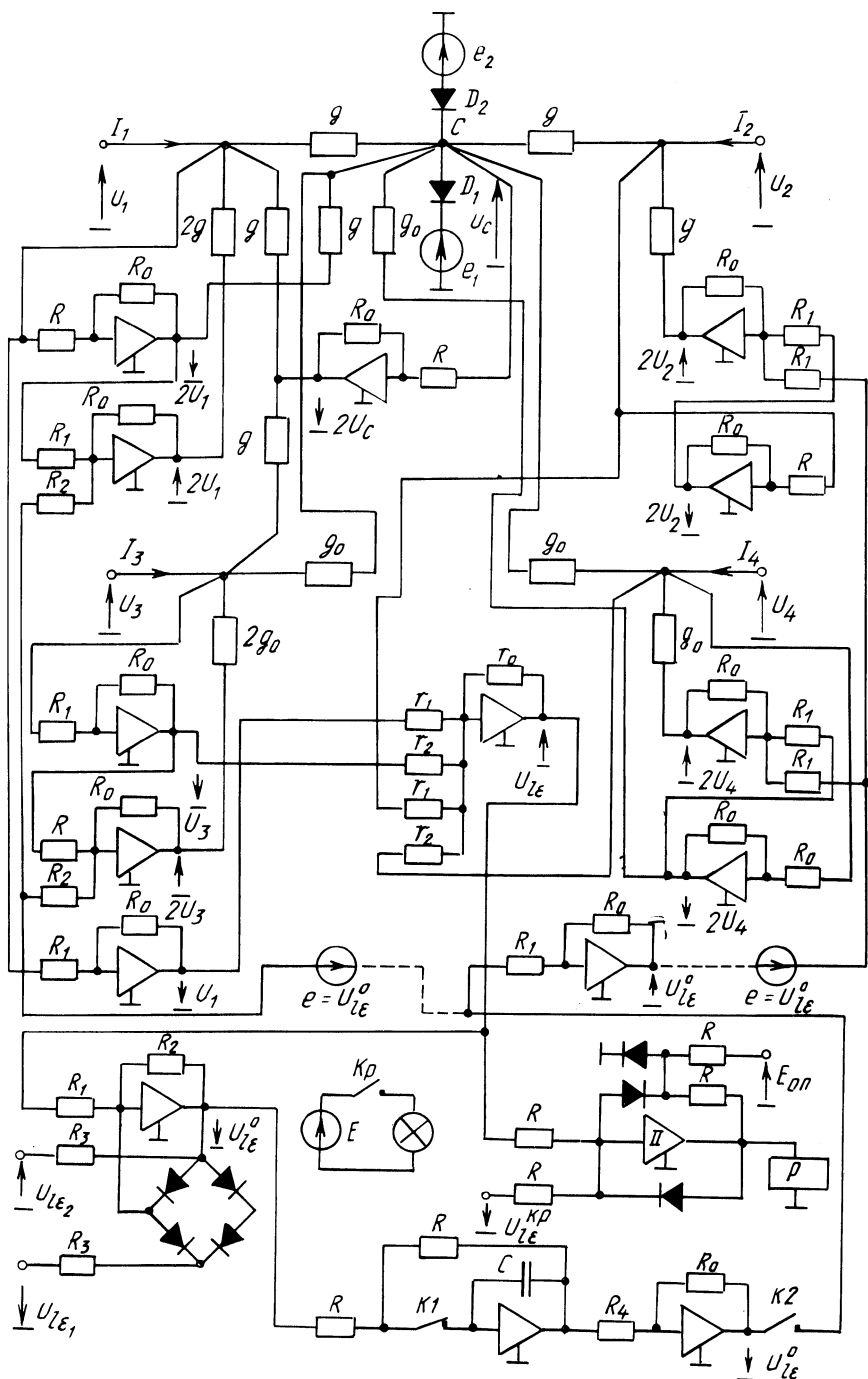


Рис. 3. Электронная модель стержня фермы для исследования приспособляемости.

Значения источников опорной эдс

$$e_1 = \gamma_u \frac{\xi_1 l}{3(\cos \alpha + \sin \alpha)} \quad \text{и} \quad e_2 = \gamma_u \frac{\xi_2 l}{3(\cos \alpha + \sin \alpha)}$$

Предложенная схема работает следующим образом. Если усилие в моделируемом стержне находится на наклонном участке диаграммы, то напряжение $U_{1\varepsilon}^0$, эквивалентное остаточному удлинению (укорочению) стержня, равно нулю. При работе в пластической области $U_{1\varepsilon}^0 = U_{1\varepsilon} - U_{1\varepsilon_1}$ для сжатого $U_1^0 = U_1 - U_{1\varepsilon_2}$ для рас-

тянутого стержней. Индикатор укорочения, выполненный на усилителе П, служит для сигнализации о потере стержнем устойчивости.

С целью исследования фермы электронная модель собирается из схем-аналогов отдельных стержней. Внешняя нагрузка моделируется источниками тока. При введении нагрузочных токов в узлы модели ключи К1 закрыты, а ключи К2 открыты. Когда нагрузка достигает значения, соответствующего данному этапу нагружения, ключи К1 размыкают. На блоках запоминания обрабатываются напряжения, эквивалентные остаточным удлинениям (укорочениям) стержней фермы. Внешнюю нагрузку отключают, а ключи К2 замыкают. В результате в модели обрабатывается самоуравновешенное поле остаточных усилий и соответствующие перемещения узлов. Для следующего этапа нагружения полученное состояние является исходным.

В процессе исследования не требуется корректировать расчетную схему и подбирать допустимую основную систему метода сил, которая позволяет определить перемещения на каждом этапе упругопластического поведения фермы.

Таким образом, применение метода электро моделирования при исследовании истории нагружения ферм с целью определения действительного распределения остаточных усилий и перемещений приспособившихся ферм позволяет упростить расчеты по сравнению с расчетами на основе общих методов строительной механики — методом сил и методом перемещений.

ЛИТЕРАТУРА

1. К о й т е р В.Г. Общие теоремы упругопластических сред. — М.: Изд-во иностр.лит., 1961. — 78 с.
2. В о л ь м и р А.С. Устойчивость деформируемых систем. — М.: Наука, 1967. — 94 с.
3. Л и н д и ш а с Л.Т., Ч и р а с А.А. К вопросу определения предельной нагрузки шарнирно-стержневых систем при помощи методов математического программирования. — В кн.: Литовский механический сборник. Вильнюс, 1968, № 2(3), с. 79—101.
4. О в с я н к о В.М. Синтез электронных моделей деформируемых объектов. — Минск: Наука и техника, 1982. — 280 с.