нижнего пояса на расстоянии 10—15 мм от линии контакта с раскосом наступают при нормативной нагрузке на ферму. В точке концентрации пластичность проявляется при нагрузке ниже нормативной.

Для выявления зависимости между напряженно-деформированным состоянием и прогибами фермы в табл. 1 приведены результаты исследования при нагрузках от $q^{н}$ до 1,6 q. Напряжения рассматриваются в носках раскоса. Из данных таблицы видно, что, несмотря на развитие пластических деформаций в узлах нижнего пояса, практически сохраняется линейная зависимость между относительными прогибами и нагрузкой вплоть до 1,6 q. Наконец, отметим, что при нагрузке выше расчетной происходит выравнивание пластических деформаций по контуру растянутого раскоса. Полученные результаты согласуются с данными работ [1, 2, 4].

Выводы

1. Пластичность в узле нижнего пояса фермы наступает весьма рано, т. е. при нагрузке, составляющей 40% от разрушающей.
2. Локальная текучесть в узлах фермы вблизи сварных швов в точках по толщине стенки ГСП появляется при нормативной нагрузке.
3. Несущая способность узлов исчерпывается при малых пластических деформациях.
4. Наибольший уровень напряжений отмечен в носках раскосов нижнего узла.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гарф Э. Ф.* Исследования конструктивной прочности сварных узлов и элементов из гнутых профилей замкнутого сечения. Диссертация. Киев, 1969.
2. Научно-технический отчет. Исследования беспрогонного блока покрытия 12×30 с фермами для изготовления на поточных линиях из гнутосварных профилей при минимальном числе сварочных деталей и типоразмеров. Испытание фрагментов и узлов. ВНИКТИстальконструкция. Щелково, 1974.
3. Рекомендации по проектированию металлоконструкций из гнутосварных замкнутых профилей. М., ЦНИИПСК, 1977.
4. *Севрюгин В. В.* Экспериментальное исследование моделей фрагментов ферм из гнутосварных профилей. Реферативный сборник. Проектирование металлических конструкций 2(49). М., ЦИНИС, 1974.

УДК 531.787.91:62 4.74.4:728.9

Н. И. КАЗНАЧЕЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧКАХ

В невысоких зданиях сельскохозяйственного назначения основную стоимость составляют покрытия. Поэтому целесообразно заменить традиционные стоечно-балочные конструкции легкими оболочками. Определение параметров, устанавливающих метрологические свойства схемы измерения давлений и перемещений в железобетонных оболочках, при их испытании представляют интерес. Выходной сигнал электрического датчика давления деформации является функцией нескольких переменных [1; 2]

$$A^* = \varphi(F,\ C,\ q,\ m,\ N,\ D), \tag{1}$$

где A^* — выходной сигнал датчика;

F — эффективная площадь чувствительного элемента;

C — жесткость чувствительного элемента;

q — деформация механических соединений;

m — геометрические размеры конструкций;

N — нелинейность;

D — дисперсия.

Считая, что параметры F, C, q, m, N, D являются функциями измеряемого давления, получим зависимости

$$\left|\begin{aligned} &F = F_0(1 + \alpha\Delta P);\\ &C = C_0(1 + \beta\Delta P);\\ &q = q_0(1 + \gamma\Delta P);\\ &m = m_0(1 + \mu\Delta P);\\ &N = N_0(1 + \nu\Delta P);\\ &D = D_0(1 + \rho\Delta P), \end{aligned}\right. \tag{2}$$

где α, β, γ, μ, ν, ρ — коэффициенты зависимости эффективной площади и жесткости чувствительного элемента деформации механических соединений, изменения геометрических размеров конструкции, а также зависимости параметров нелинейности и дисперсии от давления P.

Изменение функции, вызванное изменением измеряемого давления, может быть найдено в результате разложения функции в ряд Тейлора по малым приращениям всех переменных. При многоточечном методе измерения номинальные значения входных сигналов в каждой точке известны, а отклонения входного сигнала от номинальных значений по сравнению с номинальными величинами можно считать малыми. Поэтому при разложении в ряд Тейлора можно пренебречь всеми членами высшего порядка, кроме первого. Правомерность такого утверждения подтверждена экспериментальными исследованиями, в результате которых получена высокая точность данных.

При учете вышесказанного ряд Тейлора, ограниченный величинами только первого порядка малости, будет иметь вид:

$$\varphi = f(F_0,\ C_0,\ q_0,\ m_0,\ N_0,\ D_0) + \frac{\partial f}{\partial F}\cdot\frac{\partial F}{\partial\Delta P} + \frac{\partial f}{\partial C}\cdot\frac{\partial C}{\partial\Delta P} + \frac{\partial f}{\partial q}\cdot\frac{\partial q}{\partial\Delta P} + \frac{\partial f}{\partial m}\cdot\frac{\partial m}{\partial\Delta P} + \frac{\partial f}{\partial N}\cdot\frac{\partial N}{\partial\Delta P} + \frac{\partial f}{\partial D}\cdot\frac{\partial D}{\partial\Delta P}. \tag{3}$$

Из соотношения (3) следует, что частные производные равны

$$\frac{\partial F}{\partial \Delta P} = \alpha F_0; \quad \frac{\partial q}{\partial \Delta P} = \gamma q_0; \quad \frac{\partial N}{\partial \Delta P} = \nu N_0;$$
$$\frac{\partial C}{\partial \Delta P} = \beta C_0; \quad \frac{\partial m}{\partial \Delta P} = \mu m_0; \quad \frac{\partial D}{\partial \Delta P} = \rho D_0. \tag{4}$$

Подставим соотношения (4) в формулу (3) и получим

$$\varphi = f(F_0;\ C_0;\ q_0;\ m_0;\ N_0;\ D_0) + \left(\alpha F_0 \frac{\partial f}{\partial F} + \beta C_0 \frac{\partial f}{\partial C} + \right.$$
$$\left. + \gamma q_0 \frac{\partial f}{\partial q} + \mu m_0 \frac{\partial f}{\partial m} + \nu N_0 \frac{\partial f}{\partial N} + \rho D_0 \frac{\partial f}{\partial D}\right) \Delta P. \tag{5}$$

При отсутствии дополнительных возбуждающих воздействий, т. е. при действии только измеряемого давления, статическая характеристика зависимости выходного параметра A от измеряемого давления P образует семейства характеристик в соответствии с формулой (5).

Приращение дисперсии ΔD при изменении независимых переменных рассчитаем по формуле

$$\Delta D = S_p^D (\Delta P + K_p^D \Delta P + K_T^D \Delta T + K_\Theta^D \Delta\Theta + K_\tau^D \Delta\tau + K_t^D \Delta t +$$
$$+ K_{v_{\text{num}}}^D \Delta v_{\text{num}} + K_{f_{\text{num}}}^D \Delta f_{\text{num}} + K_z^D \Delta z_{\text{num}}). \tag{6}$$

Входящие в уравнение (6) коэффициенты преобразования могут быть записаны в следующем виде:

$$K_P^D = \frac{S_P^D}{S_P^D}; \quad K_T^D = \frac{S_T^D}{S_P^D}; \quad K_\Theta^D = \frac{S_\Theta^D}{S_P^D}; \quad K_\tau^D = \frac{S_\tau^D}{S_P^D}; \quad K_t^D = \frac{S_t^D}{S_P^D};$$
$$K_{v_{\text{num}}}^D = \frac{S_{v_{\text{num}}}^D}{S_P^D}; \quad K_{f_{\text{num}}}^D = \frac{S_{f_{\text{num}}}^D}{S_P^D}; \quad K_{z_{\text{num}}}^D = \frac{S_{z_{\text{num}}}^D}{S_P^D}; \tag{7}$$
$$S_P^D = \frac{\partial f D}{\partial P}; \quad S_P^D = \frac{\partial f D}{\partial P}; \quad S_T^D = \frac{\partial f D}{\partial T}; \quad S_\Theta^D = \frac{\partial f D}{\partial \Theta}; \quad S_\tau^D = \frac{\partial f D}{\partial \tau};$$
$$S_t^D = \frac{\partial f D}{\partial t};$$
$$S_{v_{\text{num}}}^D = \frac{\partial f D}{\partial v_{\text{num}}}; \quad S_{f_{\text{num}}}^D = \frac{\partial f D}{\partial f_{\text{num}}}; \quad S_{z_{\text{num}}}^D = \frac{\partial f D}{\partial z_{\text{num}}}.$$

Рассматривая разложение статической характеристики в ряд Тейлора, приходим к выводу, что зависимость выходного сигнала y от измеряемого давления P может быть представлена выражением

$$y = a_0 + a_1 P + H_{(P)}, \tag{8}$$

где a_0 — нулевой уровень;

a_1 — коэффициент, характеризующий чувствительность датчика;

$H_{(P)}$ — полином, характеризующий нелинейность датчика.

Таким образом, основными величинами, определяющими метрологические свойства схемы измерения давления (деформации), являются параметры a_0, a_1 и $H_{(P)}$.

Определим основные факторы, влияющие на изменение указанных величин, выразив их через следующие функциональные зависимости:

$$a_0 = f_0 (T;\ \Theta;\ \tau;\ t;\ v_{\text{num}};\ z_{\text{num}};\ f_{\text{num}};\ C_{rei};\ F_{rei};$$
$$C_{ni};\ C_{ki};\ B_i;\ R_i;\ L_i;\ C_i \quad \text{и др.}); \tag{9}$$
$$a_1 = f_1 (T;\ \Theta;\ \tau;\ t;\ v_{\text{num}};\ z_{\text{num}};\ f_{\text{num}};\ C_{rei};\ F_{rei};\ C_{ni};\ C_{ki};\ B_i;$$
$$R_i;\ L_i;\ C_i \quad \text{и др.});$$
$$H_{(P)} = f_{\text{н}} (T;\ \Theta;\ \tau;\ t;\ v_{\text{num}};\ z_{\text{num}};\ f_{\text{num}};\ C_{rei};\ F_{rei};\ C_{ni};\ C_{ki};$$
$$B_i;\ R_i;\ L_i;\ C_i \quad \text{и др.}).$$

Основными факторами, влияющими на изменение величин a_0, a_1 и $H_{(P)}$, как следует из функциональных зависимостей (9), являются:

температура тела T;

температура окружающей среды Θ;

длительное время работы τ;

кратковременный период работы t;

напряжение, ток и частота питающего сигнала U_{num}, I_{num}, f_{num}.

Эти возбуждающие воздействия проявляются через следующие конструктивные параметры:

C_{rei} или f_{rei} — жесткость или эластичность чувствительных элементов;

F_i — эффективные площади чувствительных элементов;

C_{ni} или f_{ni} — жесткость или эластичность дополнительных пружин;

C_{ki} или f_{ki} — жесткость или эластичность элементов конструкции датчика;

B_i — начальные размеры элементов конструкции датчика;

R_i, L_i, C_i — значения сопротивлений индуктивностей; емкостей.

Следует отметить, что в функциональные зависимости (9) должны входить и другие влияющие факторы, но их влияние сказывается в значительно меньшей степени, чем вышеперечисленных, и поэтому они не рассматриваются.

Полученная в настоящей статье зависимость (8) практически полностью определяет статическую характеристику датчика давления (деформации) и основные погрешности.

Нулевой уровень датчика характеризуется величиной, а уход нуля схемы измерения определяется изменением этой величины, т. е. выражением Δa_0.

Естественно, что в бильшинстве случаев необходимо добиваться уменьшения величин a_0 и Δa_0.

Величина a_0 может быть сведена к минимуму предварительной настройки нуля датчика давления, однако точное смещение статической характеристики в начало координат нередко представляет собой значительные технические трудности, что приводит к необходимости мириться с нулевым остатком. Поэтому важно рассмотреть условие изменения нулевого остатка и ухода нуля.

Значительное увеличение величины Δa_0 может быть вызвано влиянием помех согласно первому уравнению системы (9)

$$\Delta a_0 = \frac{\partial f_0}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial f_0}{\partial \Theta} \Delta\Theta + \frac{\partial f_0}{\partial \tau} \Delta\tau + \frac{\partial f_0}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial f_0}{\partial v_{\text{num}}} \Delta v_{\text{num}} +$$

$$+ \frac{\partial f_0}{\partial J_{\text{num}}} \Delta J_{\text{num}} + \frac{\partial f_0}{\partial f_{\text{num}}} \Delta f_{\text{num}} . \qquad (10)$$

Из выражения (10) видно, что величина a_0 может быть сведена к нулю при равенстве нулю правой части.

Эта задача может быть решена двояким способом. Первый способ заключается во взаимной компенсации слагаемых, входящих в выражение (10), для чего соответствующим образом должны быть подобраны знаки и величины слагаемых.

Практическая реализация этого способа весьма сложна и трудоемка. Второй способ заключается в минимизации слагаемых, что может быть выполнено путем повышенной защищенности к действию помех путем уменьшения самих помех.

Реализация этого способа упрощается тем обстоятельством, что практически на каждом датчике преобладающее значение имеет лишь часть помех, входящих в уравнение (10). Например, при выполнении электрической цепи датчика по мостовой и дифференциальной схемам в заданном пределе изменений можно исключить из рассмотрения величины ΔU_{num}, ΔI_{num}, Δf_{num}. При соответствующем выборе измерительных и конструктивных схем могут быть сведены к минимуму величины ΔT, $\Delta\Theta$, $\Delta\tau$ и Δt.

Выводы

1. Определены основные факторы, влияющие на изменение метрологических свойств схемы измерения, давления (деформации).

2. Показаны пути устранения нулевого уровня датчика давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кривоносов И. И.* Электромеханические измерительные преобразователи давлений высокотемпературных сред. М., «Энергия», 1976.

2. *Казначеев Н. И.* Применение легких пространственных железобетонных оболочек.— «Сельское строительство», 1974, № 1.