

Кандидат технических наук Ю. В. Яковлев

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЁСТКОСТИ ГУСТО ПЕРФОРИРОВАННЫХ ПЛИТ

Насколько нам известно, случай изгиба плит с большим числом отверстий не освещён в технической литературе. Вопрос этот возникает, в частности, при механическом расчёте кожухотрубных теплообменников с учётом изгибных деформаций трубных решёток. Учёт же изгибных деформаций решёток возможен лишь, если нам заранее известно поведение таких плит при изгибе, — известна потеря их жёсткости.

Для решения этой задачи нами проведено опытное исследование жёсткости густо перфорированных плит с целью выяснения влияния на изгибную жёсткость таких факторов, как шаг  $t$  и диаметр отверстий  $d$ , толщина и форма плиты.

Судить о влиянии перфорации на изгибную жёсткость плиты можно на основании сопоставления упругих поверхностей изгиба плит сплошных и перфорированных. Задача значительно упрощается, если будет доказано, что закон изгиба тех и других плит подобен, совпадая с точностью до некоторого множителя, каковым и является коэффициент жёсткости  $\psi$ . Этот вопрос был решён положительно постановкой специальных опытов, показавших, что форма упругой поверхности перфорированных и сплошных плит совпадает с достаточной, для практических целей, точностью. На графике (см. рис. 2а) приведены результаты измерений прогибов сплошной и перфорированной плиты вдоль радиуса  $a$  при нагрузках, подобранных так, чтобы прогибы в центре этих плит были одинаковыми. Таким образом, переходя к исследованию влияния перфорации на жёсткость плит, получаем возможность принять простую схему свободно опертой плиты, с нагрузкой, распределённой по периметру центрального отверстия (см. рис. 1), и ограничиться замером прогиба какой-либо определённой точки плиты.

Критерием для оценки жёсткости нами принято отношение прогиба в центре сплошной плиты к прогибу плиты перфорированной при той же нагрузке.

Опытные образцы плит были изготовлены круглой и прямоугольной формы, наибольшими размерами 300 мм, толщиной 2, 3, 4 мм, из стали марки СТ-2, СТ-60 и целлулоида. Все стальные плиты шлифовались, однако контурный зазор при проверке на контрольной плите достигал 0,2 мм, что, естественно, отразилось на начальных показаниях дальнейших испытаний. Сетка перфорации была принята треугольной  $60^\circ$  и в одном случае прямоугольной. Всего было испытано 10 круглых и 4 прямоугольных плиты (см. рис. 3).

Переменное отношение диаметра к шагу отверстия  $\frac{d}{t}$  и диаметра отверстия к диаметру плиты  $\frac{d}{2a}$  достигалось тем, что нами был принят ряд сеток перфорации с числом отверстий от 121 до 367; диаметры же отверстий последовательно увеличивались от опыта к опыту. Максимальные прогибы плит мы ограничили порядком 0,4 ÷ 0,5 от толщины. В качестве эталонных плит

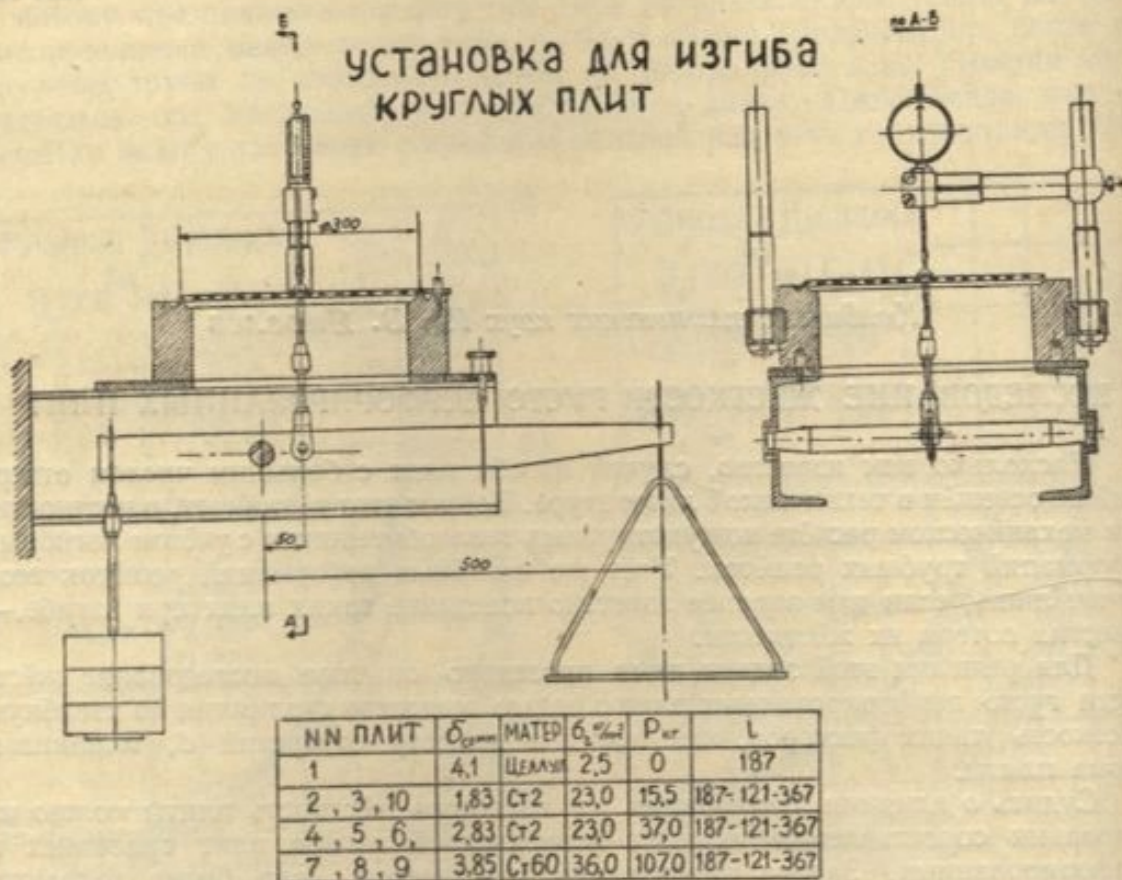


Рис. 1.

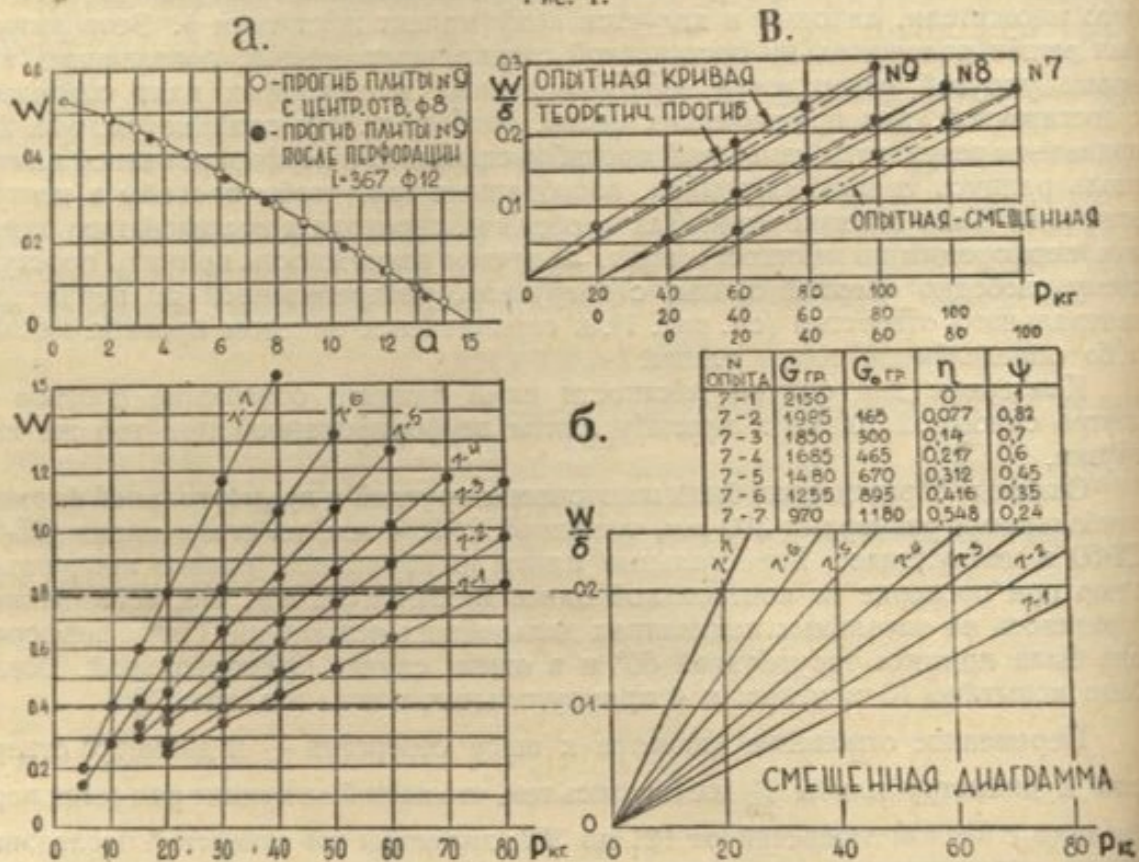


Рис. 2.

служили круглые плиты с малым центральным отверстием и прямоугольные — сплошные. После замера прогибов эталонных плит наносилась сетка перфорации и просверливались отверстия. Все плиты, по мере их перфорации, взвешивались с целью уточнения площади перфорации.

Результаты опытов нанесены на диаграммы в координатах «прогиб — нагрузка» (см. рис. 2б). Если рассмотреть характер опытных кривых для круглых плит, то обнаруживается, что в начале опыта плита прогибается при меняющихся контурных условиях, ввиду чего прогиб плиты возрастает быстро и непропорционально нагрузке. После того, как под воздействием нагрузки плита окажется прижатой по всему контуру, устанавливается чёткая линейная зависимость между прогибом и нагрузкой до некоторого значения  $\frac{w(0)}{\delta}$ .

При обработке опытных кривых для круглых плит, начальные значения которых не показательны, мы рассматривали устойчивые линейные участки этих кривых, представленные в виде смещённых диаграмм (см. рис. 2б). Таким образом, для каждого опыта получали коэффициент жёсткости из отношения:

$$\psi = \frac{w(0)}{w_p(0)}.$$

Сопоставление опытного прогиба с теоретическими для сплошных круглых стальных плит № 7, 8, 9 представлено на рис. 2в.



Рис. 3.

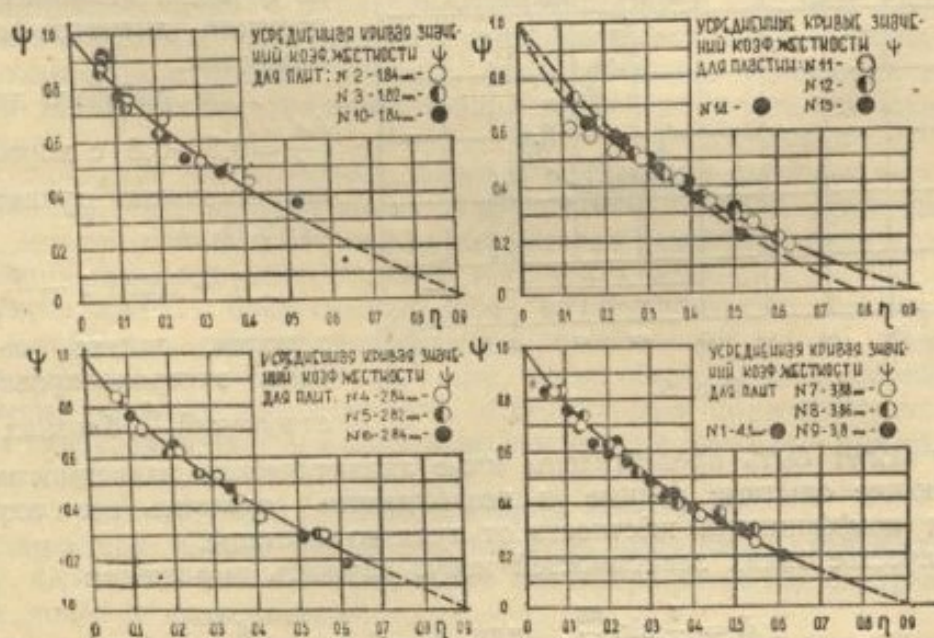


Рис. 4.

Весьма существенным является установление эмпирической зависимости коэффициента жёсткости от параметров, характеризующих перфорацию плит. В качестве такого параметра принимаем отношение диаметра к шагу отверстия, связанное, в свою очередь, с коэффициентом заполнения  $\eta$ . Поэтому естественно в первом приближении представить эмпирическую зависимость  $\psi$  от параметра  $\eta$ .

Для коэффициента жёсткости мы имеем следующие граничные значения:  $\psi = 1$  при  $d = 0$ , то есть для плиты сплошной, и  $\psi = 0$  при  $d = t$  для плиты с нулевой жёсткостью.

Коэффициент заполнения для треугольной сетки перфорации

$$\eta = \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{\pi d^2}{8} : \frac{\sqrt{3}}{4} t^2 = 0,905 \left(\frac{d}{t}\right)^2$$

имеет следующие предельные значения:  $\eta = 0$  при  $d = 0$  и  $\eta = 0,905$  при  $d = t$ . Для прямоугольной —

$$\eta = 0,785 \left(\frac{d}{t}\right)^2 = 0 \text{ при } d = 0 \text{ и } \eta = 0,785 \text{ при } d = t.$$

Хотя крайние значения  $\psi$  и  $\eta$  не имеют практического значения, они позволяют установить общую закономерность, представленную на рис. 4 в виде кривых для всех опытных плит.

Сопоставление этих кривых обнаруживает их совпадение с точностью до 4—5% и позволяет сделать вывод о том, что влияние упругих постоянных

( $E, \mu$ ), равно как толщины и формы плиты, на величину коэффициента жёсткости вообще незначительное.

С достаточной точностью для практических целей оказалось возможным объединить результаты всех опытов в виде аналитических зависимостей коэффициента жёсткости только от одного параметра — отношения диаметра к шагу отверстия.

Для рабочего диапазона ( $\frac{d}{t} = 0,5 \div 0,8$ ) с хорошей точностью можно принять зависимость

$$\psi = 1,18 \left(1 - \frac{d}{t}\right),$$

которая, однако, не может быть экстраполирована для отношений  $\frac{d}{t}$ , близких к нулю.

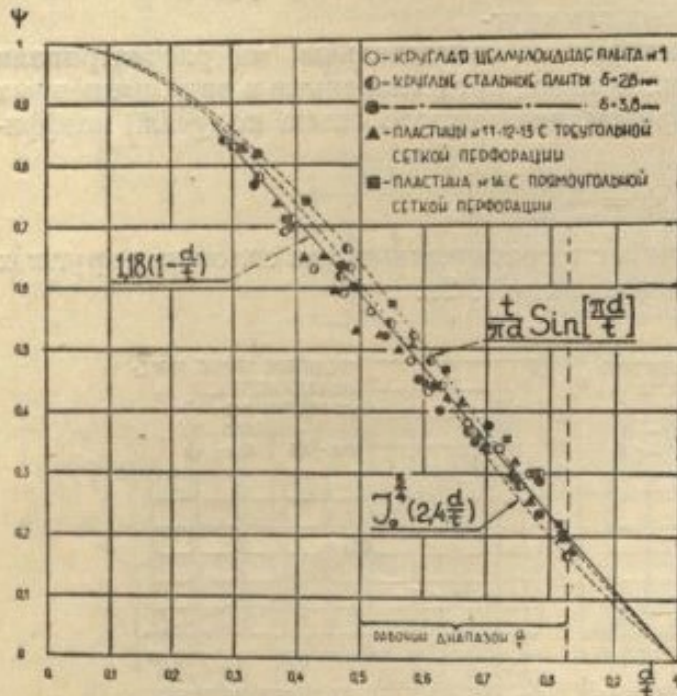


Рис. 5.

Поэтому могут быть представлены иные аналитические зависимости, аппроксимирующие опытные данные и позволяющие охватить все возможные значения коэффициента жёсткости от нуля до единицы.

В качестве таких зависимостей могут служить выражения

$$\psi = \frac{t}{\pi d} \sin \frac{\pi d}{t}, \text{ или } \psi = I_0^{3/4} \left(2,4 \frac{d}{t}\right),$$

графики которых сопоставлены с опытными данными на рис. 5.

Таким образом, экспериментально установлено, что густо перфорированные плиты подчиняются законам изгиба плит сплошных, этим обосновывается возможность при расчёте деформаций перфорированных плит оперировать с обычным аппаратом расчёта плит, но с введением некоторого коэффициента жёсткости  $\psi$ , зависящего от характера перфорации.