

ником, позволяющих кроме снижения энергоёмкости погружения, в определённых условиях (при погружении в лидерные скважины) дополнительно закреплять грунт специальными растворами, а также повысить несущую способность свай [3,4].

Забивная свая с пазами содержит ствол с наконечником. На наружной поверхности наконечника в направлении от острия к стволу выполнены продольные углубления-пазы. При производстве работ сваю погружают в лидерную скважину, заполненную на 1/2...2/3 высоты закрепляющим грунт раствором, например, жидким стеклом, или забивают непосредственно в грунт. За счёт возможности прохождения раствора или грунта по пазам происходит смазка боковой поверхности ствола раствором, т.к. в этом случае свая обладает меньшим коэффициентом трения о грунт и испытывает меньшее сопротивление погружению, что облегчает забивку и требует меньших энергетических затрат. Помимо этого, раствор под действием повышенного давления проникает по порам и трещинам в грунт основания и после затвердевания цементирует его, значительно повышая прочность и несущую способность основания.

Как показали многочисленные экспериментальные исследования забивка свай может быть успешно применена как в обычных, так и в слабых болотистых и водонасыщенных грунтах без устройства в них лидерных скважин. В натуральных условиях испытывались обычные призматические сваи сечением 300x300 мм длиной 6м и такие же сваи с пазами. Исследования по несущей способности проводились ИСиА Гостроя Беларуси по нашему заказу и были получены положительные результаты.

Обладая простотой конструкции, забивная свая только за счёт наличия пазов на боковой поверхности наконечника обеспечивает снижение энергоёмкости погружения на 20%. Остальные же технико-экономические показатели, характерные для свай заводского изготовления (металло- и материалоемкость, армирование, несущая способность), при прочих равных условиях, одинаковы как для свай с пазами, так и без пазов. Эффективность применения свай с пазами достигается

за счёт возможности перетекания грунта по пазам из-под наконечника (зоны повышенного давления) к боковой поверхности ствола (зону пониженного давления).

В БГТУ разработана также и другая, более эффективная конструкция забивной сваи с «двойным» наконечником в нижней части ствола и продольными углублениями (пазами) на боковой поверхности наконечника. Свая, как и предыдущая, характеризуется пониженной на 15...25% энергоёмкостью установки в грунт и дополнительно повышенной на 10...15% несущей способностью по грунту основания по сравнению с типовыми призматическими сваями.

Технология изготовления свай с «двойным» наконечником традиционна и мало чем отличается от технологии изготовления призматических свай. Армирование – типовое в виде пространственного квадратного каркаса или центрально установленных арматурных стержней или прядевой либо проволочной арматурой. Сваи могут быть изготовлены с ненапрягаемой арматурой без и с поперечным армированием ствола. Сваи бетонируют в металлических и деревянных формах или кассетах, что позволяет изготавливать в них как обычные сваи, так и с пазами и «двойным» наконечником.

Всё сказанное выше – использование обмазок, паст и синтетических смол, а также прогрессивных конструкций свай – направлено на повышение эффективности и снижение энергоёмкости погружения свай в грунт.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чернюк В.П., Пойта П.С. Расчёт проектирование и устройство свайных фундаментов. – Брест, 1998. – 216 с.
2. Кречин А.С., Чернюк В.П. и др. Ресурсосберегающие фундаменты на сельских стройках. – Кишинёв: Картя-Молдовеняскэ, 1990. – 247 с.
3. Авторское свидетельство СССР № 1135843. Забивная свая/ Чернюк В.П., Юськович Г.И., Пчелин В.Н., Чернюк О.А. Оpubл. в БИ 1985, №3.
4. Авторское свидетельство СССР № 1278403. Забивная свая/ Чернюк В.П., Юськович В.И., Пчелин В.Н. Оpubл. в БИ 1986, №47.

УДК 691.174-405.8

**Чистяков А.М., Расс Ф.В., Черноиван Н.В.**

## К РАСЧЁТУ СЖАТО-ИЗОГНУТЫХ НЕСУЩИХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ

В настоящее время одним из перспективных направлений в совершенствовании конструктивных решений лёгких ограждающих конструкций является разработка несущих многослойных панелей [1]. Однако, возможности внедрения в практику строительства таких конструкций на сегодня ограничены ввиду отсутствия инженерной методики их расчёта.

Представленная статья посвящена разработке инженерной методике расчёта несущих многослойных панелей, представляющих собой монопанель, усиленную подкрепляющим элементом, соединённым с металлическим профилированным листом на дискретных связях. Принятые соединения являются упруго-податливыми при сдвиге и абсолютно жесткими в направлении нормали к срединной плоскости пластины.

С точки зрения статической работы несущей многослойной панели при усилении базовой конструкции (монопанели) подкрепляющим листом со стороны помещения она пред-

ставляет собой сжато-изогнутую составную пластину с двумя несущими слоями – основного в виде профилированного стального листа (слой 2) и дополнительного из листового материала (слой 1) (рис 1б).

На первом этапе при расчете общего напряженного состояния многослойной панели дискретные связи предлагается заменить эквивалентными континуальными связями, распределёнными равномерно по всей ее площади. Так как материалы, из которых выполнены несущие слои пластины ортотропны, то для каждого из них справедлива гипотеза прямых нормалей. В связи с тем, что панель опирается только по двум коротким кромкам и работает в условиях одноосного сжатия и цилиндрического изгиба (рис. 1а), расчет ее общего напряженно-деформированного состояния можно производить для полосы единичной ширины.

*Чистяков Анатолий Михайлович. Д.т.н., профессор, академик РИА, директор ЦНИИЛМК, Россия.*

*Расс Федор Владимирович. К.т.н., доцент, с.н.с. ЦНИИЛМК, Россия.*

*Черноиван Николай Вячеславович. К.т.н., ст. преподаватель каф. строительных конструкций Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.*

В случае цилиндрического изгиба в соответствии с [2] система уравнений для двухслойной составной пластины запи-

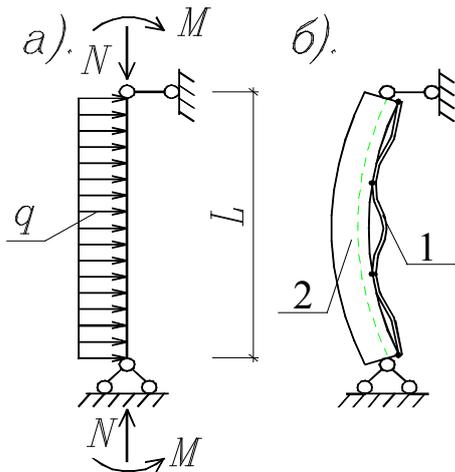


Рисунок 1. Расчетная схема несущей стеновой панели - а; схема деформации панели - б

шется в виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{T''}{\xi} &= \delta T + \frac{N_1}{E_1^* F_1} - \frac{N_2}{E_2^* F_2} - \frac{CM_e}{D_0} \\ D_0 W'' &= -M_e + CT \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\delta = \frac{C^2}{D_0} + \frac{1}{E_1^* F_1} - \frac{1}{E_2^* F_2}$ ,  $C$  - расстояния между сре-

динными плоскостями слоев;  $E_i^* = \frac{E_i}{1 - \mu_{xi} \mu_{yi}}$  - приведен-

ный модуль упругости ортотропных жестких слоев;  $\mu_{xi}, \mu_{yi}$  - коэффициенты Пуассона слоев пластины;

$D_0 = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{12} E_i^* F_i$  - суммарная изгибная жесткость слоев в

основной системе, лишенной связей сдвига;  $F_i$  - площадь

поперечного сечения слоев 1 и 2 на единицу их ширины при  $i = 1, 2$ ;  $\xi = \frac{\sum_{i=1}^m \xi_i}{LB}$  - коэффициент жесткости связей сдвига

на 1 см<sup>2</sup> площади пластины;  $\xi_i$  - коэффициент жесткости  $i$ -той дискретной связи,  $B$  - ширина панели;  $L$  - пролет пластины;  $N$  - продольное усилие, действующее на пластину в целом;

$$N_1 = \frac{E_1^* F_1}{E_1^* F_1 + E_2^* F_2} \cdot N,$$

$N_2 = \frac{E_2^* F_2}{E_1^* F_1 + E_2^* F_2} \cdot N$  - продольное усилие в слоях;

$M_e$  - изгибающий момент от внецентренного приложения продольной нагрузки;  $T$  - суммарная продольная сдвигающая сила.

Система уравнений (1) линейна относительно  $W$  и  $T$ . Влияние продольной силы на прогиб пластины с практически достаточной точностью может быть учтено путем использо-

вания известной зависимости  $W_W = WK$ , где

$$K = \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N}.$$

Аппроксимируем  $W_W, T$  одинарными рядами вида:

$$W_W = \sum_{n=1}^{\infty} A_{wn} \sin \frac{n\pi x}{L}, T = \sum_{n=1}^{\infty} A_{tn} \sin \frac{n\pi x}{L}. \quad (2)$$

Разложим также в ряды по синусам изгибающие моменты от внецентренно приложенной продольной и равномерно распределенной поперечной нагрузок и продольное усилие. Для первого из них, следуя обычным путем, запишем:

$$\int_0^L \frac{qx}{2} (L-x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx = \int_0^L \sin \frac{n\pi x}{L} \sum_{n=1}^{\infty} A_{qn} \sin \frac{n\pi x}{L} dx.$$

Выполнив интегрирование, с учетом ортогональности тригонометрических функций определим  $A_{qn} = \frac{4qL^2}{n\pi}$ .

Аналогично получим  $A_{Mn} = \frac{4M_e}{n\pi}$ ,  $A_{Nn} = \frac{4N}{n\pi}$ . Подста-

вим ряды в (1) и после сокращения левых и правых частей этих уравнений на  $\sin \frac{n\pi x}{L}$ , получим окончательную систему в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{\xi} A_m \frac{n^2 \pi^2}{L^2} &= \delta A_m + \frac{N_1}{E_1^* F_1} - \frac{N_2}{E_2^* F_2} - \frac{C}{D_0} \left( \frac{4M_e}{n\pi} + \frac{1}{K} NA_{wn} - \frac{4qL^2}{n^3 \pi^3} \right) \\ -\frac{1}{K} D_0 A_{wn} \frac{n^2 \pi^2}{L^2} &= -\left( \frac{4M_e}{n\pi} + \frac{1}{K} NA_{wn} - \frac{4qL^2}{n^3 \pi^3} \right) + CA_m \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Решив систему (3), определим коэффициенты произвольного члена рядов:

$$A_m = \frac{P_2}{P_1} \text{ и } A_{wn} = \frac{P_4}{P_3} - \frac{CP_2}{P_1 P_3} \quad (4)$$

где  $P_1 = \delta + \frac{n^2 \pi^2}{\xi L^2} - \frac{1}{K} \frac{C^2 N}{D_0 P_3}$ ;

$$P_2 = \frac{N_2}{E_2^* F_2} - \frac{N_1}{E_1^* F_1} + 4 \left[ \frac{CM_e K}{D_0 n \pi} \left( 1 - \frac{N}{KP_3} \right) + \frac{cqL^2}{D_0 n^3 \pi^3} \left( \frac{N}{KP_3} - 1 \right) \right]$$

$$P_3 = D_0 \frac{1}{K} \frac{n^2 \pi^2}{L^2} - \frac{1}{K} N; P_4 = \frac{4}{n\pi} \left( M_e - \frac{qL^2}{n^2 \pi^2} \right).$$

Подставив  $A_m$  и  $A_{wn}$  соответственно в выражения  $W_W$  и  $T$  по (2), определим прогиб конструкции, суммарное сдвигающее усилие в связях и нормальные напряжения в слоях согласно [2].

Кроме проверки прочности слоев, должны быть произведены проверка общей устойчивости панели как составного сжатого элемента по [2]:

$$N_{cr} = \frac{\frac{\pi^4}{L^4} + \frac{\lambda^2 \pi^2}{L^2}}{\frac{\pi^4}{L^2 D_0} + \frac{\lambda^2}{D}}, \quad (5)$$

где  $\lambda = \sqrt{\xi \left( \frac{1}{E_1^* F_1} + \frac{1}{E_2^* F_2} + \frac{C^2}{D_0} \right)}$ ;  $\xi = \frac{\sum_{i=1}^m \xi_i}{LB}$  - услов-

ный коэффициент жесткости связей сдвига;  $\sum \xi_i$  - сумма жесткостей при сдвиге всех дискретных связей основного и усиливающего слоев;  $L, B$  - соответственно пролет и ширина панели;  $E_1^*, E_2^*, F_1, F_2$  - приведенные модули упругости и площади поперечного сечения соответственно усиливающего и основного слоев на единицу ширины панели;  $C$  - расстояния между срединными плоскостями слоев;  $D_0$  - сумма жесткостей слоев на единицу ширины панели в основной системе, лишенной связей сдвига;  $D$  - жесткость приведенного монолитного сечения панели.

Для проверки местной устойчивости полок и наклонных граней профилированного листа, подкрепленного припенным пенопластом, можно использовать формулы, предложенные Ф.Ф. Тампლოном для расчета двухслойных панелей [3].

Особенностью рассматриваемой многослойной конструкции панели является дискретное по ее длине расположение связей между слоями. По ширине панели связи расположены достаточно часто так, что их можно считать равномерно распределенными по линии. Следствием дискретности связей является различие перемещений слоев между линиями соединения, особенно вероятное при наличии начальной погиби каждого из них. При этом характерным видом предельного состояния подкрепляющего элемента (слой 1), помимо прочности, является его местная потеря устойчивости между линиями соединения слоев. Этот вид работы подкрепляющего элемента сжато-изогнутой панели требует учета местного расположения связей. В зависимости от эксцентриситета приложения продольной нагрузки и начальной погиби слоя 1 его потеря устойчивости может иметь форму выпучивания по Эйлеру, быстрого нарастания прогиба в результате превалирующего влияния начальной погиби, либо, что наиболее вероятно при существенной изгибной жесткости слоя, перескока на несмежную форму равновесия, т.е. прощелкивания (рис. 1б). Рассмотрим последний вариант, т.к. он имеет в данном случае значительную специфику.

При принятых шарнирных условиях опирания пластины по двум кромкам, соединении слоев по линиям и виде нагрузки конструкция работает в условиях цилиндрического изгиба. Поэтому расчет производим, как и ранее для выделенной вдоль ее пролета полоски единичной ширины. Связи в направлении нормали к срединной плоскости, как уже говорилось, считаем абсолютно жесткими. Расчет удобно выполнять методом сил.

Для определения перемещений слоя 1 используем решение, полученное в [4]. При этом определяющее уравнение для произвольной точки крепления ( $k$ ) имеет следующий вид:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{2L^3}{D_1 \pi^4} \sum_{i=1}^m \left( X \sin \frac{\pi x_i}{L} \right) - \chi W_0 \right] \frac{1}{(1-\chi)} = \sum_{n=1}^{\infty} A_{wn} \sin \frac{n\pi \xi_k}{L} \quad (6)$$

где  $D_1 = E^* \frac{t^3}{12}$  - изгибная жесткость полоски единичной ширины слоя 1;  $X_i, x_i$  - реакция и координата по длине про-

лета положения связи в точке  $i=1, 2 \dots k \dots m$  выделенной полосы единичной ширины;  $\chi = \frac{N_1}{N_{cr1}}$ , здесь  $N_1, N_{cr1}$  - продольные фактически действующая и критическая силы в слое 1 на 1 см ширины пластины;  $m$  - число промежуточных связей по длине пролета выделенной полосы;  $W_0$  - начальная погибь слоя 1;  $\xi_k$  - координата по длине пролета рассматриваемой связи.

Количество уравнений в системе равно количеству точек связей для выделенной полосы пластины. При симметричном относительно середины пролета расположении точек связей число уравнений уменьшается вдвое.

Исходя из действительной конструкции рассматриваемой многослойной панели примем, что связи расположены симметрично в третях пролета  $\left( x_1 = \frac{L}{3}; x_2 = \frac{2}{3}L \right)$ . С учетом симметрии расчетной схемы реакции равны  $X_1 = X_2 = X$  и для их определения достаточно одного уравнения совместности, которое при практически допустимом приближении получает вид:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{4L^3}{D_1 \pi^4} X \sin \frac{n\pi}{3} - \chi W_0 \right] \frac{1}{(1-\chi)} = \sum_{n=1}^{\infty} A_{wn} \sin \frac{n\pi}{3} \quad (7)$$

Определим  $X$ , ограничившись одним членом ряда и сократив левую и правую части уравнения на  $\sin \frac{n\pi}{3}$ :

$$X_i = \frac{D_1 \pi^4}{4L^3} \left[ A_{wn} (1-\chi) + \frac{\chi W_0}{\sin \frac{\pi}{3}} \right] \quad (8)$$

Тогда упругое перемещение  $W_{1*}$  слоя 1 можно представить как разность:

$$W_{1*} = W_W - W_1 \quad (9)$$

где  $W_1 = \sum_{n=1}^{\infty} A_{1n} \sin^2 \frac{3n\pi x}{L}$ ;

$$A_{1n} = A_{wn} - \left[ \frac{4L^3}{D_1 \pi^4} \sum_{i=1}^m \left( X_i \sin \frac{n\pi x_i}{3} \right) + \chi W_0 \right] \frac{1}{(1+\chi)}$$

Для того чтобы определить усилия сдвига и отрыва, действующие на каждое точечное соединение слоев нужно полученные значения  $T$  и  $X$  для координат  $X_i$  соответствующей точки умножить для промежуточных по ширине пластины связей на расстояние между ними  $b_1$ , а для крайних - на половину этого расстояния  $b_1/2$ .

$$T^* = b_1 \sum_{n=1}^{\infty} A_{1n} \sin \frac{n\pi x_i}{L}$$

$$X^* = \frac{D_1 \pi^4}{4L^3} [A_{wn} (1+\chi) + \chi W_0] \quad (10)$$

Определив напряженно-деформированное состояние слоя 1 в системе составной пластины, перейдем к проверке его устойчивости "в большом". Рассмотрим его как самостоятельную пластину, заменив влияние на него отброшенных

связей возникающими в них усилиями. Расчет выполним энергетическим методом, как для выделенной полосы единичной ширины с учётом влияния начальной погиби подкрепляющего элемента. В связи с этим сокращение пролета, вызванное упругим искривлением  $-U_1$ , следуя [4], найдем как разность между воображаемым полным сокращением, обусловленным местной погибью  $W_0$  и упругим прогибом  $W_1$ , и сокращением от одной только погиби  $W_0$ .

Учитывая, что  $dU = -\frac{1}{2}(W')^2 dx$ , получим:

$$U_1 = \frac{1}{2} \int_0^L (W'_1 + W'_0)^2 dx - \frac{1}{2} \int_0^L (W')^2 dx = \frac{1}{2} \int_0^L (W'_1)^2 dx + \frac{1}{2} \int_0^L W'_1 W'_0 dx \quad (11)$$

Запишем функционал энергии для рассматриваемого слоя:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & \int_0^L \frac{1}{2} [D_1(W''_W - W''_1 + W''_0)^2 - N_1(W'_W - W'_1 + W'_0)^2] dx + \\ & + \frac{1}{2} M_e \frac{D_1}{(D_1 + D_2)} \int_0^L (W'_W - W'_1 + W'_0) dx - \frac{1}{2} \frac{T_i^2}{\xi_i L} + \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m X(W_W - W_1 + W_0) \end{aligned} \quad (12)$$

где  $W_W, W_1, W_0$  - общий прогиб срединной плоскости пластины, прогиб и начальная погибь подкрепляющего элемента;  $T_i$  - суммарное сдвигающее усилие в  $i$ -той связи;  $\xi_i$  - расстояние от опоры до  $i$ -той связи при симметричной расстановке последних.

Для определения критической силы потери местной устойчивости слоя 1 "в большом" используем метод Риза. Также как и ранее аппроксимируем упругий прогиб слоя и начальную погибь рядами синусов.

После подстановки рядов в (12) и интегрирования по длине пластины с учетом ортогональности тригонометрических функций, получим окончательно уравнение энергии в следующем виде:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & \frac{1}{4} D_1 \sum_{n=1}^{\infty} \left( A_{wn} - A_{1n} + \frac{4}{\pi} W_{0n} \right)^2 \frac{n^4 \pi^4}{L^3} - \\ & - \frac{1}{4} N_1 \sum_{n=1}^{\infty} \left( A_{wn} - A_{1n} + \frac{4}{\pi} W_{0n} \right)^2 \frac{n^2 \pi^2}{L} + \\ & + M_e \frac{D_1}{(D_1 + D_2)} \sum_{n=1}^{\infty} \left( A_{wn} - A_{1n} + \frac{4}{\pi} W_{0n} \right) \frac{n^2 \pi^2}{L} - \\ & - \frac{1}{2} \frac{T_i^2}{\xi_i L} + \sum_{i=1}^m X_i \left( A_{wn} - A_{1n} + \frac{4}{\pi} W_{0n} \right) \sin \frac{n\pi x}{L} \end{aligned} \quad (13)$$

где для рассматриваемого случая промежуточные связи расположены в третях пролета:  $x_i = \frac{L}{3}$ .

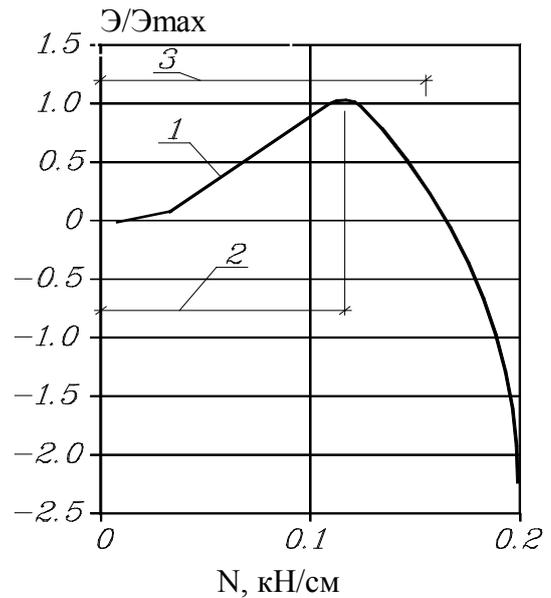


Рисунок 3. Определение критического усилия местной потери устойчивости "в большом" подкрепляющего элемента: 1 - характер энергетического барьера; 2 - теоретическое значение критического усилия; 3 - экспериментальное значение критического усилия  $W$ , мм

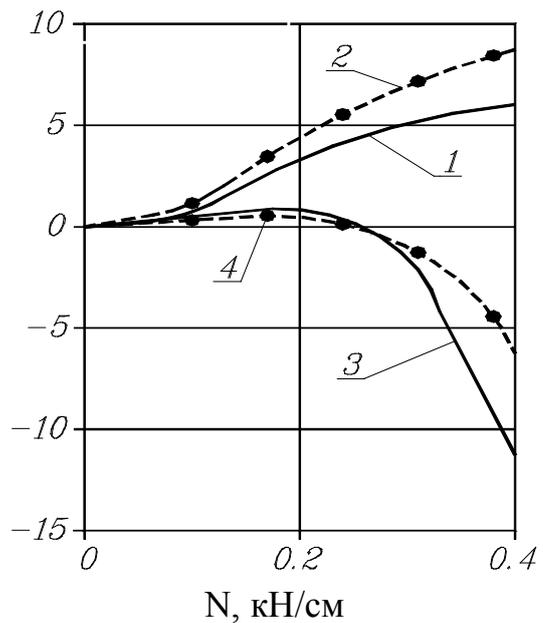


Рисунок 2. Зависимость стрелы прогиба от нагрузки: 1,2 - для панели в целом - экспериментальная и теоретическая кривая соответственно; 3,4 - для подкрепляющего элемента между точками его присоединения к основному профилированному листу - экспериментальная и теоретическая кривая соответственно

Используя (13),  $N_{cr}$  можно определить обычным путем из условия  $d\mathcal{E}/dN = 0$ . Но, в данном случае это связано с громоздкими вычислениями. Проще это сделать путем численного расчета по графику зависимости  $\mathcal{E}(N)$  (рис. 2). При определении  $N_{cr}$  для обеспечения необходимой точности

результатов, как показали численные эксперименты на ЭВМ, достаточно использовать до трёх членов ряда.

Следует подчеркнуть, что широкий комплекс исследований составных слоистых сжато-изогнутых систем, в том числе выходящих за рамки данной работы [5], показал, что форма местной потери устойчивости их элементами “в большом” характерна и фактически чаще является определяющей, чем это учитывалось до настоящего времени.

Для проверки предложенных выше расчётных формул были проведены статические испытания на сжатие с изгибом серии натурных образцов панелей, размерами в плане 2870х560 мм. Образцы состояли из стального профилированного листа Н75-750-0,8 и прикрепленного к нему на болтах листа фанеры толщиной 4 мм. Принятый шаг дискретных связей соответствовал расчётной схеме (рис. 16).

Для проведения испытаний натурных образцов несущей многослойной панели на сжатие с изгибом была изготовлена специальная траверса для передачи сжимающей нагрузки с эксцентриситетом. Испытания натурных образцов производились в Научно-техническом центре Министерства архитектуры РБ (г. Брест). Загружение натурных образцов выполнялось ступенями до 100 кг до исчерпания несущей способности.

Проведенные экспериментальные исследования позволили выявить характер работы конструкции при сжатии с изгибом. По результатам данных испытаний были построены графики зависимости стрелы прогиба панели в целом и подкрепляющего элемента от величины приложенной нагрузки (рис. 3).

УДК 624.131

**Федоров В.Г., Климук А.М.**

## ВИБРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАМЫВНЫХ И НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ

Намывные и насыпные грунты оснований, как и другие виды грунтов, под действием динамических нагрузок проявляют упругие свойства. Динамические нагрузки, возникающие при работе машин и механизмов, представляют собой неуравновешенные силы инерции, которые могут быть пульсирующими, ударными или периодически изменяющимися во времени. Вследствие этого возникают вынужденные колебания фундамента на грунтовом основании, которые могут распространяться на значительные расстояния.

При расчете фундаментов под машины с динамическими нагрузками основным критерием достаточности принятых размеров фундамента является допустимая величина амплитуды колебаний. Амплитуда колебаний фундамента при неизменной возмущающей силе зависит от его размеров и динамических характеристик основания. Динамические свойства основания характеризуются коэффициентом упругого равномерного сжатия и коэффициентом относительного демпфирования - так называемыми упругими и демпфирующими характеристиками. Так как коэффициенты упругого равномерного сжатия и относительного демпфирования представляют собой обобщенные характеристики основания и зависят не только от упругих и демпфирующих свойств грунтов, но и от вида и структуры грунтов, размеров и формы подошвы фундамента, то в ответственных случаях в соответствии с [1] их рекомендуется определять по результатам полевых испытаний.

*Федоров Владислав Германович. К.т.н., профессор каф. оснований фундаментов, инженерной геологии и геодезии, ректор Брестского государственного технического университета.*

*Климук Анатолий Михайлович. К.т.н., доцент каф. оснований фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.*

### ВЫВОДЫ

1. Натурные исследования показали, что несущая способность рассматриваемой несущей многослойной панели определяется местной потерей устойчивости подкрепляющего элемента.
2. Местная потеря устойчивости подкрепляющего элемента “в большом” произошла при нагрузке 0,16 кН/см, что близко к теоретическому значению критического усилия (рис. 2).
3. Следовательно, предлагаемая методика расчёта сжато-изогнутых несущих многослойных панелей может быть использована в инженерных расчётах с использованием ЭВМ для определения несущей способности рассматриваемых конструкций.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Черноиван Н.В. Многослойная несущая стеновая панель для жилых зданий// «Вестник БПИ – Строительство и архитектура», 2000. – №1. – С. 73...74.
2. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. – М.: Стройиздат, 1986. – С. 261.
3. Тамплон Ф.Ф. Металлические ограждающие конструкции. – Л.: Стройиздат, 1988. – 248 с.
4. Уманский А.А. Строительная механика самолета. – М., 1961. – С. 84...87.
5. Расс Ф.В. Устойчивость “в большом” внешнего слоя внецентренно сжатого трехслойного стержня// Механика композитных материалов. – Рига, 1996. – С. 525...530.