

9. General Services Administration (GSA), Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects; 2003.
10. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency (FEMA) 356, November, 2000 – 561 p.
11. Тур, В.В. Проверки конструктивных систем в особых расчетных ситуациях // Строительная наука и техника. – 2010. – № 4. – С. 3–15.

Материал поступил в редакцию 01.02.11

PETSOLD T.M., TUR A.V. Experimental-theoretic research differentiation of dynamic coefficient in quasi-static analysis

In this paper a review of experimental and analytical studies carried out for prediction of resistance of concrete constructions, prestressed on the building site with unbonded tendons, is given. Deformative method on basis of block model, proposed for calculation stress in prestressed unbonded tendons, is described. Results of parametric study, carried out for comparison this method with methods, which are given in different codes and recommendations, is presented. Quasi-static method and research differentiation of dynamic coefficient is presented.

УДК 624.014:621.792

Левчук А.А., Петрукович А.Н.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ С УТЕПЛИТЕЛЕМ ИЗ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ПЛИТ

Введение. При проектировании ограждений зданий и сооружений из металлических панелей с утеплителем должны выполняться расчеты по двум группам предельных состояний [1] – по прочности (безопасности) и по пригодности к нормальной эксплуатации.

Для выполнения расчетов панелей необходимо знать следующие прочностные и упругие характеристики – расчетные сопротивления подкрепленных средним слоем сжатых обшивок, модуль сдвига среднего слоя, расчетные сопротивления среднего слоя при сдвиге и сжатии.

Эти характеристики определяются экспериментально по приведенным в [2] методикам.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований выпускаемых ИП «Изобудпромстрой» металлических панелей с утеплителем из минераловатных плит Rockwool номинальной плотностью 117 кг/м³ с вертикально ориентированными волокнами марки SANDWICH BATTs CB 122/01200/0630 2ST/PAC производства Республики Польша.

Нормативные сопротивления среднего слоя панелей сжатию и сдвигу, нормативное сопротивление сжатию подкрепленных средним слоем обшивок панелей f_k определялись статистической обработкой соответствующих прочностных показателей $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$, полученных экспериментально при n испытаниях.

Нормативные сопротивления вычислялись по формуле:

$$f_k = e^{(\bar{y} - k_{\sigma} \cdot \sigma_y)}$$

$$\text{где } \bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n; y_i = \ln(f_i - \bar{f}); \bar{f} = \sum_{i=1}^n f_i / n;$$

σ_y - среднее квадратическое отклонение y ;

k_{σ} - квантильный коэффициент (см. таблицу 1).

Таблица 1

n	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
k_{σ}	3,15	2,68	2,46	2,34	2,25	2,19	2,14	2,10	1,99	1,93

Расчетные сопротивления среднего слоя панелей сжатию и сдвигу, расчетное сопротивление сжатию подкрепленных средним слоем обшивок панелей определялись по формуле:

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

где γ_m – коэффициент надежности по материалу (см. таблицу 2).

Таблица 2

Напряженное состояние	γ_m
Потеря местной устойчивости подкрепленных средним слоем сжатых обшивок (критические напряжения)	1,25
Сдвиг по материалу среднего слоя	1,5
Местное сжатие среднего слоя на опорах	1,4
Разрушение крепежных деталей или местное разрушение панелей в местах креплений к несущим конструкциям	1,33

Прочность, нормативное и расчетное сопротивления среднего слоя при сжатии. Прочность при сжатии материала среднего слоя панелей определялась на образцах размерами в плане 150×150 мм, высота образцов равнялась толщине панелей.

Разрушающее усилие F_u определялось по максимальному сжимающему усилию при испытаниях F или равнялось сжимающему усилию при достижении 10% линейной деформации образца (по высоте).

Прочность образца при сжатии определялась по формуле:

$$f_{cc} = \frac{F_u}{A}$$

где F_u – разрушающее усилие;

A – площадь поперечного сечения образца.

Схема испытаний образцов на сжатие показана на рисунке 1.

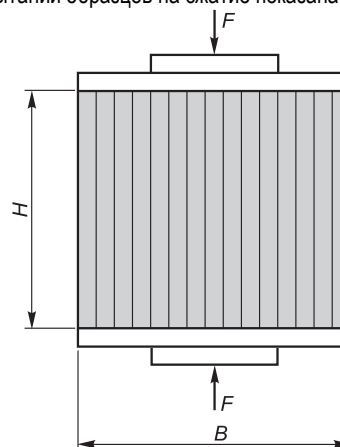


Рис. 1. Схема испытаний образцов на сжатие

F – усилие, прикладываемое к образцу при испытании на сжатие; H – высота образца, мм; B – ширина образца, мм

Петрукович Андрей Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник филиала Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС» Научно-технический центр. Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267/2.

Таблица 3. Прочность, нормативные и расчетные сопротивления при сжатии панелей покрытия и стеновых

Тип и толщина панели, из которой изготовлены образцы	Число образцов n	Прочность образцов при сжатии $f_{Cc,i}$ кПа (разрушающее усилие $F_{u,i}$ кН)	Прочность при сжатии f_{Cc} кПа	Нормативное сопротивление сжатию $f_{Cc,k}$ кПа	Расчетное сопротивление сжатию $f_{Cc,d}$ кПа
Стеновая панель толщиной 100 мм	7	140.9 (3.17), 95.1 (2.14), 120.9 (2.72), 114.2 (2.57), 97.3 (2.19), 92 (2.07), 136.9 (3.08)	113,9	80,7	57,6
Стеновая панель толщиной 120 мм	7	153.3 (3.45), 122.2 (2.75), 139.6 (3.14), 197.8 (4.45), 148.9 (3.35), 115.6 (2.6), 94.7 (2.13)	138,9	83,1	59,4
Панель покрытия толщиной 120 мм	7	80.9 (1.82), 89.8 (2.02), 88.4 (1.99), 160.0 (3.6), 128 (2.88), 108.4 (2.44), 96 (2.16)	107,4	63,3	45,2

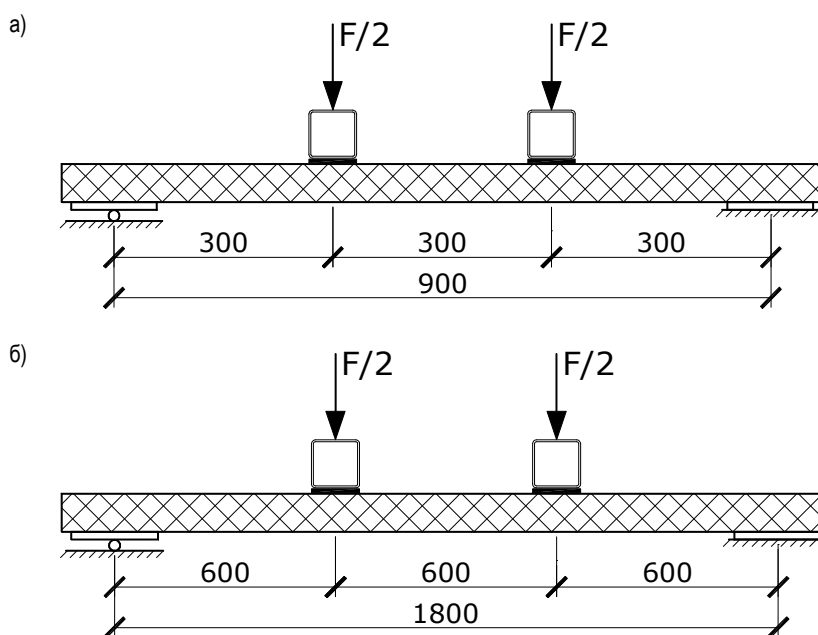


Рис. 2. Схемы испытаний образцов панелей на сдвиг
 а – для образцов ПС1100.1200.100-М, ПС1100.1200.120-М, ПП1100.1200.120-М;
 б – для образцов ПС2000.1200.200-М



Рис. 3. Характер разрушения образцов панелей при испытаниях на сдвиг

Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Прочность, нормативное и расчетное сопротивления среднего слоя при сдвиге и модуль сдвига. Прочность при сдвиге и модуль сдвига среднего слоя определялись на образцах панелей марок ПС1100.1200.100-М, ПС1100.1200.120-М, ПС2000.1200.200-М и ПП1100.1200.120-М.

Схемы испытаний образцов панелей различных типоразмеров показаны на рисунке 2.

Сущность метода испытаний заключается в определении значения максимального сдвигающего усилия F_u в момент разрушения

образца при помощи приспособления, создающего в нем зону чистого изгиба между приложенными силами $F/2$ и зоны с постоянной величиной сдвигающего усилия на участках от опор до внешних сил $F/2$, с вычислением максимальных напряжений сдвига (прочности при сдвиге образца) на этих участках по формуле:

$$f_{cv} = \frac{F_u}{2Be}$$

где F_u – разрушающее усилие, действующее на образец при сдвиге; B – ширина образца (панели); e – расстояние между центрами обшивок панели.

Таблица 4. Прочность, нормативные и расчетные сопротивления при сдвиге, модули сдвига

Тип и толщина панели	Число образцов n	Модули сдвига образцов $G_{C,i}$, МПа Модуль сдвига G_C , МПа	Прочность образцов при сдвиге $f_{Cv,i}$ кПа (разрушающее усилие $F_{U,i}$ кН)	Прочность при сдвиге f_{Cv} , кПа	Нормативное сопротивление сдвигу $f_{Cv,k}$, кПа	Расчетное сопротивление сдвигу $f_{Cv,d}$ кПа
Стеновая панель толщиной 100 мм (ПС1100.1200.100-М)	3	3.35, 3.03, 2.90 3.09	43 (10.3), 43 (10.3), 44 (10.5)	43.3	41.9	27.9
Стеновая панель толщиной 120 мм (ПС1100.1200.120-М)	3	4.66, 4.61, 4.96 4.75	56 (16.1), 58 (16.6), 54 (15.5)	56.0	51.1	34.1
Стеновая панель толщиной 200 мм (ПС2000.1200.200-М)	3	3.98, 3.42, 3.86 3.75	43 (20.6), 40 (19.2), 43 (20.6)	42.0	37.7	25.1
Панель покрытия толщиной 120 мм (ПП1100.1200.120-М)	3	4.01, 3.91, 5.0 4.31	43 (12.3), 43 (12.3), 55 (15.8)	47.0	32.4	21.6

Таблица 5. Критические напряжения, нормативные и расчетные сопротивления подкрепленных средним слоем сжатых обшивок в пролетах панелей

Тип и толщина панели, из которой изготовлены образцы	Число образцов n	Критические напряжения подкрепленных средним слоем сжатых обшивок $\sigma_{w,1,i}$, МПа (разрушающее усилие $F_{U,i}$ кН)	Средняя величина критических напряжений подкрепленных средним слоем сжатых обшивок $\sigma_{w,1}$, МПа	Нормативное сопротивление подкрепленной средним слоем сжатой обшивки $f_{w,1,k}$, МПа	Расчетное сопротивление подкрепленной средним слоем сжатой обшивки $f_{w,1,d}$, МПа
Стеновая панель толщиной 100 мм (ПС5200.1200.100-М)	3	107.5 (9.1), 120.5 (10.3), 116.2 (9.9)	114.7	98.6	78.9
Стеновая панель толщиной 200 мм (ПС6200.1200.200-М)	3	106.7 (14.8), 106.7 (14.8), 106.7 (14.8)	106.7	106.7	85.4
Панель покрытия толщиной 120 мм (ПП5200.1200.120-М)	3	90.7 (9.1), 105.1 (10.7), 87.1 (8.7)	94.3	72.9	58.3

Модуль сдвига определялся по формуле:

$$G_c = \frac{\Delta FL}{6Bd_c \Delta w_s}$$

где ΔF – приращение нагрузки на прямолинейном участке диаграммы нагружения испытываемого образца (зависимости «нагрузка – деформация»); L – пролет испытываемого образца; B – ширина образца; d_c – толщина утеплителя; Δw_s – деформация сдвига, определяемая по формуле $\Delta w_s = \Delta w - \Delta w_B$, Δw – приращение деформации в середине пролета, соответствующее приращению нагрузки ΔF , полученное на прямом участке графика зависимости «нагрузка – деформация»; Δw_B – прогиб образца в середине пролета, определяемый по формуле:

$$\Delta w_B = \frac{\Delta FL^3}{56,34B_s}$$

где E_F – модуль упругости стальной обшивки; A_F – площадь поперечного сечения обшивки; B_s – изгибная жесткость, определяемая по формуле $B_s = E_F A_F e^2 / 2$.

Все испытанные панели разрушились от сдвига среднего слоя на опоре. Характер разрушения показан на рисунке 3.

Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Критические напряжения, нормативные и расчетные сопротивления подкрепленных средним слоем сжатых обшивок. Критические напряжения определялись испытанием панелей на изгиб по приведенным на рисунке 4 схемам.

Сущность метода испытаний заключается в определении значения максимального усилия F_u в момент разрушения панели и расчете по нему разрушающего изгибающего момента M_u и соответствующих критических напряжений в сжатой обшивке панели.

Критические напряжения, при которых произошла потеря устойчивости подкрепленной средним слоем сжатой обшивки, вычислялись по формуле:

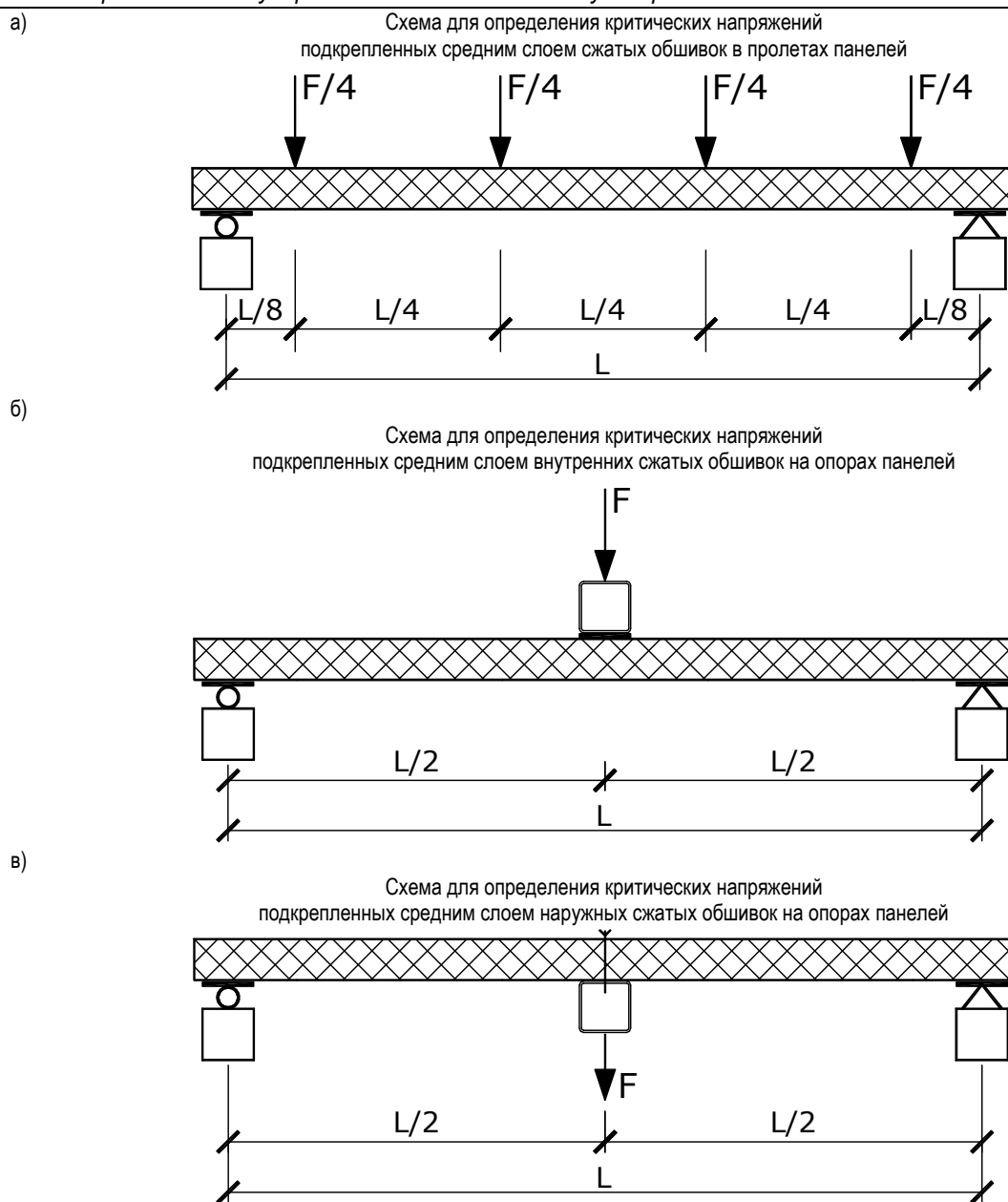


Рис. 4. Схемы испытаний образцов панелей на изгиб

Таблица 6. Критические напряжения, нормативные и расчетные сопротивления подкрепленных средним слоем внутренних сжатых обшивок на опорах панелей

Тип и толщина панели, из которой изготовлены образцы	Число образцов n	Критические напряжения подкрепленных средним слоем сжатых обшивок $\sigma_{w,2,i}$ МПа (разрушающее усилие $F_{u,i}$ кН)	Средняя величина критических напряжений подкрепленных средним слоем сжатых обшивок $\sigma_{w,2}$ МПа	Нормативное сопротивление подкрепленной средним слоем сжатой обшивки $f_{w,2,k}$ МПа	Расчетное сопротивление подкрепленной средним слоем сжатой обшивки $f_{w,2,d}$ МПа
Стеновая панель толщиной 100 мм (ПС4200.1200.100-М)	3	124.9 (6.6), 100.3 (5.2), 100.3 (5.2)	108.5	77.9	62.3
Стеновая панель толщиной 200 мм (ПС6200.1200.200-М)	3	104.4 (6.8), 116.7 (7.8), 110.8 (7.4)	110.6	95.8	76.6
Панель покрытия толщиной 120 мм (ПП4700.1200.120-М)	3	112.4 (6.2), 109.3 (6.0), 138.5 (7.9)	120.1	85.6	68.5

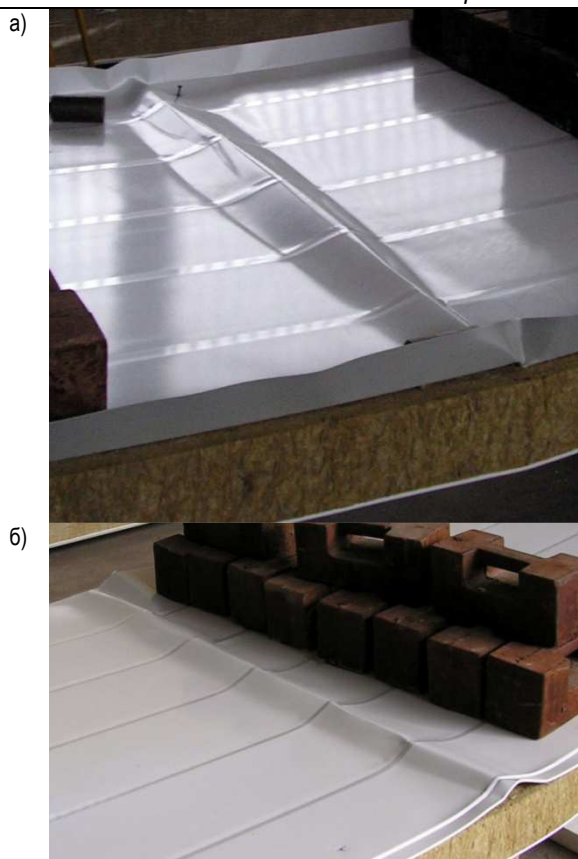


Рис. 5. Характер разрушения образцов панелей при испытаниях по схеме на рисунке 4а

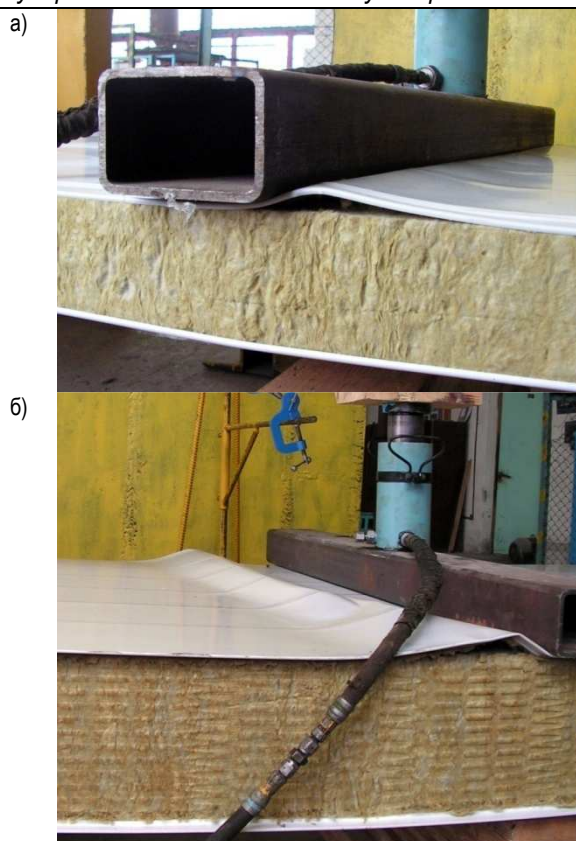


Рис. 6. Характер разрушения образцов панелей при испытаниях по схеме на рисунке 4б



Рис. 7. Характер разрушения образцов панелей при испытаниях по схеме на рисунке 4в

$$\sigma_{cr} = M_u / (eA_1),$$

где M_u – разрушающий изгибающий момент; A_1 – площадь поперечного сечения сжатой обшивки.

Разрушающий изгибающий момент при определении критических напряжений сжатых обшивок в пролетах панелей (схема на рисунке 4а) вычислялся по формуле $M_u = F_u L / 8$.

Разрушающий изгибающий момент при определении критических напряжений сжатых обшивок на опорах панелей (схемы на ри-

сунках 4б и 4в) вычислялся по формуле $M_u = (F_u / 4 + F_G / 8) L$, где F_G – собственный вес испытываемого образца.

Все испытанные панели разрушились на участке действия максимального по величине изгибающего момента с потерей устойчивости подкрепленной средним слоем сжатой обшивки (образованием складки и отслоением сжатой обшивки от среднего слоя панели на локальном участке).

Таблица 7. Критические напряжения, нормативные и расчетные сопротивления подкрепленных средним слоем наружных сжатых обшивок на опорах панелей

Тип и толщина панели, из которой изготовлены образцы	Число образцов n	Критические напряжения подкрепленных средним слоем сжатых обшивок $\sigma_{w,3,i}$ МПа (разрушающее усилие $F_{u,i}$ кН)	Средняя величина критических напряжений подкрепленных средним слоем сжатых обшивок $\sigma_{w,3}$ МПа	Нормативное сопротивление подкрепленной средним слоем сжатой обшивки $f_{w,3,k}$ МПа	Расчетное сопротивление подкрепленной средним слоем сжатой обшивки $f_{w,3,d}$ МПа
Стеновая панель толщиной 100 мм (ПС4200.1200.100–М)	3	89.9 (4.9), 92.9 (5.1), 80.6 (4.3)	87.8	72.4	57.9
Стеновая панель толщиной 200 мм (ПС6200.1200.200–М)	3	84.6 (5.5), 81.8 (5.2), 84.6 (5.5)	83.7	79.6	63.7
Панель покрытия толщиной 120 мм (ПП4700.1200.120–М)	3	86.2 (4.9), 86.2 (4.9), 89.1 (5.1)	87.2	83.0	66.4

Характер разрушения образцов, испытанных по схемам 4а, 4б, 4в показан на рисунках 5, 6, 7, соответственно.

Результаты испытаний приведены в таблицах 5–7.

Заключение

1. Экспериментально определены модули сдвига, расчетные сопротивления сдвигу и сжатию среднего слоя, расчетные сопротивления сжатию подкрепленных средним слоем обшивок трехслойных металлических панелей с утеплителем из минераловатных плит, выпускаемых ИП «Изобудпромстрой» на производственной линии в поселке Колодищи.
2. Определенные при испытаниях расчетные сопротивления сжатию подкрепленных средним слоем обшивок панелей с минераловатым утеплителем значительно ниже получаемых по приведенным в [2, 3] формулам величин расчетных сопротивлений.
3. В зависимости от места определения (в пролете или на опоре панели, внутренняя или наружная обшивка) расчетные сопротивления сжатию подкрепленных средним слоем обшивок панелей отличаются на величину до 27%.
4. Проведены аналогичные испытания выпускаемых ООО «УниверсалСистем» и ООО «Профизол» трехслойных металлических панелей с утеплителем из минераловатных плит, результаты которых здесь не приводятся. При этих испытаниях

установлено, что расчетные сопротивления сжатию подкрепленных средним слоем обшивок панелей различных производителей могут отличаться в 3–4 раза.

5. На стадии проектирования ограждений зданий и сооружений из трехслойных металлических панелей с минераловатым утеплителем необходимо знать конкретного производителя панелей, продукция которого будет использована при строительстве объекта. Расчет трехслойных панелей в ограждениях зданий и сооружений по двум группам предельных состояний должен выполняться с учетом определенных экспериментально модулей сдвига, расчетных сопротивлений сдвигу и сжатию среднего слоя, расчетных сопротивлений сжатию подкрепленных средним слоем обшивок панелей.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СТБ ISO 2394-2007. Надежность строительных конструкций. Общие принципы.
2. EN 14509. Self-supporting double skin metal faced insulating panels – Factory made products – Specifications / CEN. – Brussels: 2006.
3. Рекомендации по применению трехслойных панелей с профилированными металлическими обшивками и средним слоем из пенопласта. – Свердловск: УПИ им. Кирова, 1978.

Материал поступил в редакцию 10.11.10

LEVCHUK A.A., PETRUKOVICH A.N. Experimental researches of double skinned metal faced panels' strength and elasticity properties

Experimental researches of double skinned metal faced panels' strength and elasticity properties were made. Researches were made on panels of Isobudpromstroy, which were made on industrial line in Kolodischi settlement. Researches' results and its analysis are included.

УДК 624.014.27

Драган В.И., Морилова Н.Л.

РАСЧЕТ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМЫ «БРГТУ» В ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Введение. Существенной особенностью исследований живучести систем является их вынужденная априорность. Нерасчетные условия, возникающие в аварийных ситуациях, крайне редки и их опыт может быть распространен весьма ограниченно. Проведение специальных испытаний в натуре или просто невозможно, или крайне дорого. Именно поэтому весьма важным свойством любой системы является отказоустойчивость. Под отказоустойчивостью

(стойкостью) понимается проявление свойства живучести в нормальном режиме эксплуатации.

На сегодняшний день в нормативных документах отсутствуют какие-либо оценки живучести зданий и сооружений, а также оценки стойкости их к прогрессирующему обрушению, научные работы зарубежных ученых, связанные с данной тематикой, в основном это статьи научного характера, также не дают полного решения задач живучести. Упрощенные расчеты безопасности и надежности при

Морилова Наталья Леонидовна, аспирантка кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.