

Е.В. Назарова [E.V. Nazarova],
Н. Ю. Аветян [N. Y. Avetyan],
А.С. Марутян [A.S. Marutyanyan]

УДК 37.01: 681.5(470-25)
DOI: 10.37493/2307-910X.2022.4.25

ГИБКИЙ ВЕРХНИЙ ЭТАЖ ИЗ ЛЕГКИХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕКРЕСТНЫХ СИСТЕМ

THE FLEXIBLE UPPER FLOOR MADE OF LIGHT METAL STRUCTURES USING CROSS SYSTEMS

Пятигорский институт (филиал) Северо-Кавказский Федеральный университет, E-mail:
al_marut@mail.ru/ Pyatigorsk Institute (branch) North Caucasus Federal University, E-mail: al_marut@mail.ru

Аннотация

Представлен способ повышения сейсмостойкости при помощи гибких верхних этажей вновь возводимых зданий и сооружений, а также реконструируемых и ремонтируемых объектов существующей застройки. Приведено техническое решение легких металлических конструкций комплектной поставки из перекрестных ферм, входящих в число структурных систем. В общем ряду перекрестных систем своими технико-экономическими показателями выделяются модули покрытий и перекрытий типа «Пятигорск». Благодаря компактным габаритам этих модулей их можно выполнять цельносварными по оригинальной технологии с частичным переносом изготовления из цеха на строительную площадку, что обеспечивает им определенный спрос в нестабильных условиях современной конъюнктуры.

Ключевые слова: сейсмостойкое строительство, гибкий верхний этаж, легкие металлические конструкции, структурные системы, перекрестные фермы, цельносварные конструкции, профильные трубы, гнутосварные профили.

Abstract

A method of increasing seismic resistance using flexible upper floors of newly erected buildings and structures, as well as reconstructed and repaired objects of existing buildings is presented. The technical solution of light metal structures of complete delivery from cross-farms included in the number of structural systems is given. In the general series of cross-systems, the modules of coatings and ceilings of the Pyatigorsk type are distinguished by their technical and economic indicators. Due to the compact dimensions of these modules, they can be made all-welded according to the original technology with a partial transfer of manufacturing from the workshop to the construction site, which provides them with a certain demand in the unstable conditions of the current market.

Key words: earthquake-resistant construction, flexible upper floor, lightweight metal structures, structural systems, cross trusses, all-welded structures, profile pipes, bent-welded profiles.

Введение

Системы перекрестных ферм являются той конструктивной формой, которая содержит в себе лучшие качества как современных пространственно-стержневых (структурных) конструкций, так и традиционных стропильных и подстропильных ферм или ферм покрытий (рис. 1) [1, 2]. Накопленный опыт проектирования и строительства объектов с использованием перекрестных ферменных конструкций подтверждает рациональность,

эффективность и универсальность их базовых технических решений, обеспечивающих повышенные ресурсы силового сопротивления и устойчивости к прогрессирующему (лавинообразному) разрушению, включая сейсмостойкое строительство [3–11]. Применение таких систем в форме легких металлических конструкций комплектной поставки с использованием прямоугольных профильных труб (гнуто сварных профилей – ГСП) делает их еще более надежными и рациональными [12–16]. В общем ряду перекрестных систем из профильных труб свою область рационального применения заняли легкие металлоконструкции комплектной поставки, представляющие собой блоки (модули) покрытий и перекрытий из перекрестных ферм типа «Пятигорск». Несмотря на нестабильность конъюнктуры, они продолжают пользоваться спросом, привлекая внимание инвесторов и заказчиков своими технико-экономическими характеристиками применительно не только к новому строительству (рис. 2), но и реконструкции существующей застройки (рис. 3). Сравнительно небольшие, но наиболее востребованные размеры (чаще $6 \times 6 \dots 12 \times 12$ м) позволяют условно классифицировать их как «карманные» модули и изготавливать цельносварными из ГСП [17, 18].



Рисунок 1. Снимки павильона «Механизация сельского хозяйства» в Киеве (а) и ортогональной системы перекрестных ферм стальных из парных уголков его покрытия (б), а также ледовой арены в 50 км от Санкт-Петербурга (в) и ортогональной системы перекрестных стальных ферм из прямоугольных труб ее покрытия (г)



Рисунок 2. Снимки общего вида нового строительства (а), а также модулей 7×7 м его перекрытия (б) и модулей 14×14 м покрытия (в)



а



б

Рисунок 3. Снимки реконструкции 1-этажного здания с гибким верхним этажом из 4 модулей 5×5 м (а) и 2-этажного здания с гибким верхним этажом из 8 модулей 6×6 м (б)

Первая апробация перекрестных ферм из прямоугольных трубчатых профилей после их полномасштабного теоретического и лабораторного (стендового) изучения успешно состоялась при натурных исследованиях опытно-промышленного образца блока покрытия (с размерами в плане 19,2×15,2 м) на испытательном полигоне Армянского НИИ строительства и архитектуры с 13 ноября 1987 г. по 5 марта 1988 г. (рис. 4), что предопределило их внедрение в практику строительства, включая восстановительную зону землетрясения в Спитаке (7 декабря 1988 г.). Здесь уместно заметить, что представленный способ повышения сейсмостойкости при помощи гибких верхних этажей [19] был апробирован на том же полигоне применительно к 9-этажной конструкции каркасного здания.



а



б



в

Рисунок 4. Снимки монтажа контурных (а) и внутренних (б) перекрестных стальных ферм из прямоугольных ГСП опытно-промышленного образца блока (секции) покрытия, а также его натурального испытания на статические воздействия (в), где на задних планах видна 9-этажная конструкция каркасного здания с гибким верхним этажом

Завершая вводную часть, остается добавить, что актуальность разработки и исследования перекрестных систем, их прикладная значимость и перспективность подтверждены на Всероссийской научно-практической конференции «45 лет отрасли легких металлических конструкций: от модуля *Кисловодск* до модуля *Пятигорск*», проведенной 3-5 апреля 2017 г. на базе Пятигорского института СКФУ, Кисловодского ЗМК и ООО «Модуль-Строй» в Пятигорске [20]. Поэтому представляется вполне закономерным, что расчет и проектирование ортогональных систем перекрестных стальных ферм нашли свое отражение в новом учебнике по металлическим конструкциям, изданном в 2020 г. по заказу Ассоциации развития стального строительства [21].

Расчет на статические воздействия

Для статического расчета ортогональной системы перекрестных стальных ферм (рис. 5) можно воспользоваться их балочными аналогами [22]:

$$M = k_M pal^2 ; Q = k_Q pal ; F = k_F pal , \quad (1)$$

где M и Q – изгибающий момент и поперечная сила в сечении балочного аналога внутренней фермы; F – нагрузка балочного аналога внутренней фермы на соответствующий аналог

контурной фермы; k_M , k_Q и k_F – табличные коэффициенты; p – интенсивность распределенной нагрузки на покрытие; a и l – шаг и пролет ферм.

Поскольку стандартные таблицы [22] позволяют рассчитывать перекрестные системы с количеством ячеек от $n \times n = 4 \times 4$ до $n \times n = 10 \times 10$, то в общем случае для начала ряда таких систем с количеством ячеек $n \times n = 2 \times 2$ и $n \times n = 3 \times 3$ эти таблицы целесообразно дополнить.

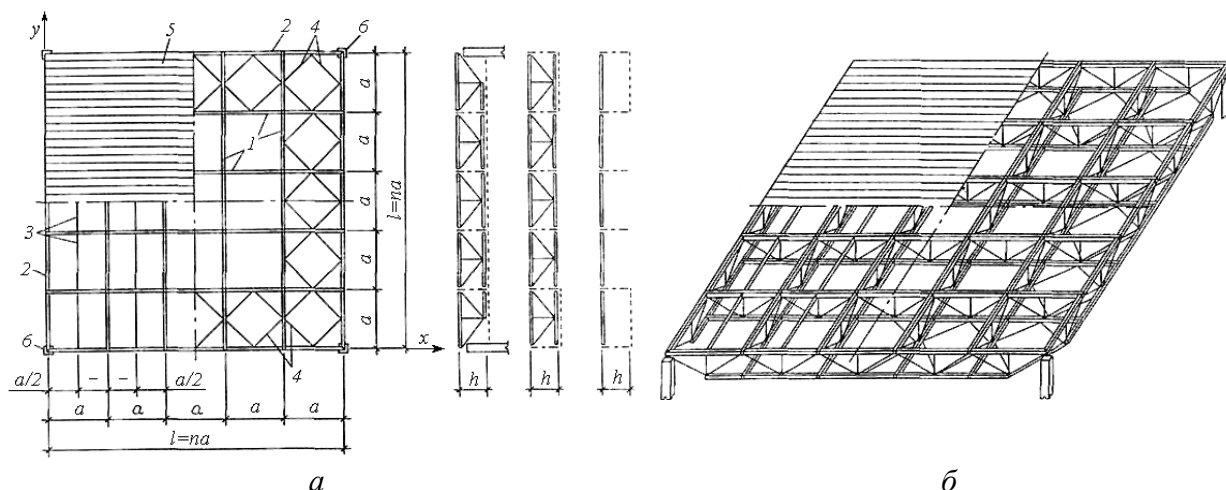


Рисунок 5. Схемы с разрезами (а) и аксонометрия (б) ортогональной системы перекрестных стальных ферм в виде секции (блока) покрытия при квадратной сетке колонн: 1 – внутренние фермы; 2 – контурные фермы; 3 – прогоны; 4 – связи по нижним поясам (при сетке колонн 30×30 м и более); 5 – профилированный настил; 6 – колонны

Табл. Расчетные коэффициенты для перекрестных балок

$n \times n$	x	y	k_M	k_Q	k_F
2×2	0	0			0,0700
	a	0	0	0,1234	0,3600
		a	0,0603		
3×3	0	0			0,0460
	a	0	0	0,1539	0,3290
		a	0,0553		
		$2a$	0,0553		

Расчет собственных колебаний

Расчет собственных колебаний несущих конструкций зданий и сооружений, в том числе и сейсмостойких конструкций из перекрестных систем, заключается в определении динамических характеристик, коими являются частоты, периоды и формы (тона) этих колебаний. Для определения периодов и форм собственных колебаний в вертикальной плоскости перекрытий и покрытий из перекрестных стальных ферм при квадратной сетке колонн сами перекрестные системы, являющиеся частным случаем структурных конструкций, можно рассматривать как пластины с распределенной массой и приведенной цилиндрической жесткостью D , определяемой по формуле [8, 10]

$$D = 1,3EI_n, \quad (2)$$

где E – модуль упругости конструкционного материала; I_n – приведенный момент инерции сечения перекрестной системы, принимаемый

$$I_c = (I_1 k_{I1} (n-1) + 2I_{I2}) / (k_{fu} k_{fp} l (n+1)). \quad (3)$$

Здесь I_1 и I_2 – моменты инерции средних поперечных сечений соответственно внутренней средней и контурной ферм; n – количество шагов перекрестных ферм в каждом

из ортогональных направлений; k_{I1} и k_{I2} – коэффициенты влияния от изменений моментов инерции сечений соответственно внутренней средней и контурной ферм, которые равны

$$k_I = (\Sigma(I_j l_j)_{\bar{A}\bar{I}} + \Sigma(I_j l_j)_{\bar{B}\bar{I}}) / (I_{\max \bar{A}\bar{I}} l_{\bar{A}\bar{I}} + I_{\max \bar{B}\bar{I}} l_{\bar{B}\bar{I}}), \quad (4)$$

где $I_{j\bar{A}\bar{I}}$ и $I_{j\bar{B}\bar{I}}$ – моменты инерции сечений j -ой панели соответственно верхнего и нижнего поясов; l_j – длина j -ой панели поясов; $I_{\max \bar{A}\bar{I}}$ и $I_{\max \bar{B}\bar{I}}$ – наибольшие моменты инерции сечений соответственно верхнего и нижнего поясов; $l_{\bar{A}\bar{I}}$ и $l_{\bar{B}\bar{I}}$ – длины соответственно верхнего и нижнего поясов.

Кроме того, в формуле (3) принято – коэффициент влияния податливости монтажных соединений перекрестных стальных ферм, равный при использовании болтовых креплений $k_{fu}=1$; сварки (в цельносварных «карманных модулях») или высокопрочных болтовых креплений с контролируемым предварительным натяжением $k_{fp}=1$, а также k_{fp} – коэффициент влияния податливости решетки ферм, принимаемый

$$k_{fp} = 1 + 2,4h/l, \quad (5)$$

где h и l – соответственно высота и пролет ферм.

В связи с близостью величин собственных частот блоков (модулей) из перекрестных систем рекомендуется определять не менее 5...7 низших частот и форм собственных колебаний [22], а значения периодов этих колебаний можно вычислять по формуле

$$T_i = (2\pi^2 \sqrt{m/D}) / k_i^2 = (2\pi^2 \sqrt{p_o/(gD)}) / k_i^2, \quad (6)$$

где T_i – период собственных колебаний по i -му тону; m – равномерно распределенная масса блока с учетом нагрузок на покрытие (перекрытие), $m = p_o/g$; p_o – нагрузка особого сочетания нагрузок при расчете на сейсмические воздействия; g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

k_i^2 – квадрат коэффициента квадратной пластины, принимаемый [24]

$$k_1^2 = 13,47; k_2^2 = 19,60; k_3^2 = 24,27; k_4^2 = 34,80; k_5^2 = 61,09; k_6^2 = 63,69.$$

(7)

Расчет внутренних и контурных прогибов

Ортогональные системы перекрестных ферм на квадратном плане кроме четырех опорных узлов по углам имеют и другие схемы опирания (рис. 6). Поэтому общий прогиб такой системы включает в свой состав внутренние и контурные части.

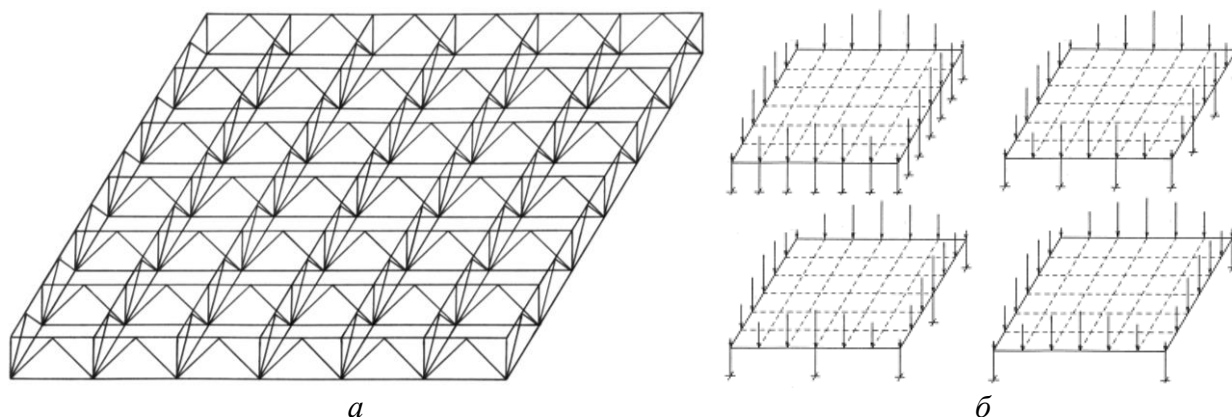


Рис. 6. Схемы ортогональной системы перекрестных ферм (а) и ее опорных контуров (б)

Чтобы вычислить прогиб перекрестных ферм в случае их опирания на неподатливый опорный контур f_1 (внутренний прогиб), можно использовать формулу

$$f_1 = (0,00815 k_{fu} k_{fp} p a l^4) / (EI_1 k_I), \quad (8)$$

где $\dot{a}$ – линейный размер шага перекрестных ферм.

Для определения прогиба опорных конструкций по контуру перекрестной системы f_2 (контурный прогиб) применимо выражение

$$f_2 = (k_{fn} k_{fu} k_{fp} p l_n^5) / (EI_2 k_I), \quad (9)$$

где l_c – пролет опорной конструкции;

k_{fn} – коэффициент влияния количества шагов n перекрестных ферм в каждом из ортогональных направлений, принимаемый

$$k_{fn} = 0,00375 \text{ при } n = 2, \quad k_{fn} = 0,00389 \text{ при } n = 3, \quad k_{fn} = 0,00326 \text{ при } n \geq 4. \quad (10)$$

Натурные испытания блока покрытия

Блок покрытия представляет собой ортогональную систему перекрестных стальных ферм из прямоугольных ГСП и имеет в плане нестандартные размеры 19,2×15,2 м, обусловленные его привязкой к объекту для постоянной эксплуатации после испытаний и шириной рабочей зоны полигона, обслуживаемой башенным краном грузоподъемностью 5 тонн при вылете стрелы около 16 м (рис. 7). При этом его конструктивно-компоновочное оформление ничем не отличается от типовых блоков размерами 18×18, 24×24 и 30×30 м.

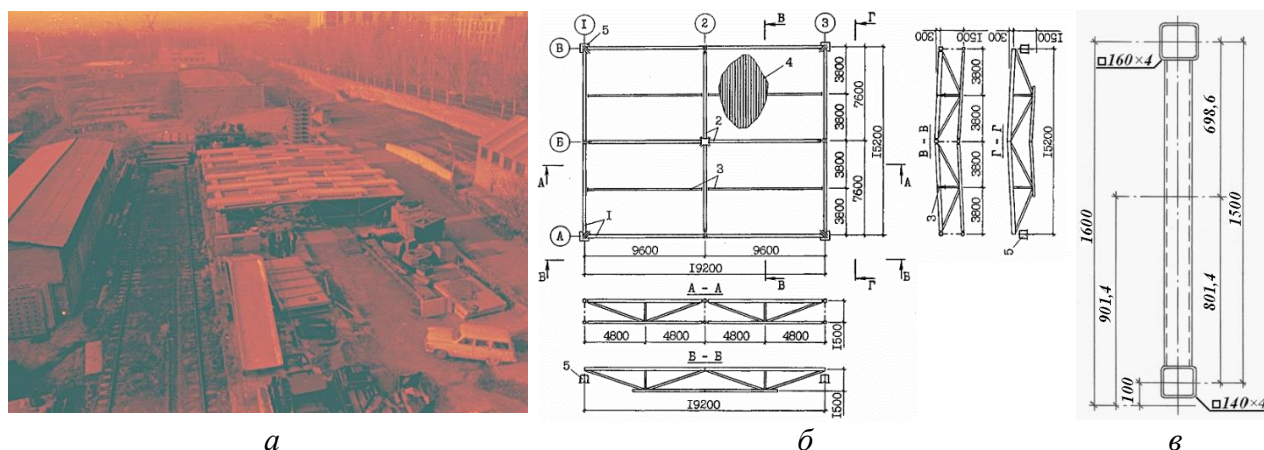


Рисунок 7. Снимок испытательного полигона (а), схемы блока покрытия (б) и поперечного сечения его контурных и внутренних ферм (в): 1 – контурные фермы; 2 – внутренние фермы; 3 – прогоны; 4 – профилированный настил; 5 – угловые опоры

Блок покрытия загружали балластом из песка и штучных грузов, в качестве которых использовали железобетонные плиты перекрытия массой по 2 т и дорожные плиты массой по 0,1 т. Насыпанная ровным слоем поверх листов профилированного настила, песчаная подушка обеспечивала более равномерное распределение нагрузки, предохраняла его от случайных механических повреждений и чрезмерного нагревания в дневное время (для штатной работы тензометрии). Кроме того, масса подушки соответствовала массе несущих и ограждающих конструкций блока, что учитывалось в результатах его испытания.

Пример расчета прогибов

Прямоугольные (блоки покрытий из перекрестных ферм рациональны не менее, чем квадратные. Для их приближенного расчета на статические воздействия можно использовать приведенную методику, если внести в нее некоторые дополнения. Такие дополнения заключаются в том, что расчет одного прямоугольного блока с размерами $l_A \times l_I$ под нагрузку p заменяется расчетом двух квадратных с размерами $l_A \times l_A$ и $l_I \times l_I$ под соответствующие нагрузки $p_A = p l_M / l_A$ и $p_I = p l_A / l_I$. При этом общий прогиб прямоугольного модуля (блока покрытия) составит

$$f = k_{fu} (f_{1A} + f_{2I}) \text{ или } f = k_{fu} (f_{1I} + f_{2A}),$$

то есть здесь имеет место своего рода контрольная проверка.

Опытно-промышленный блок имеет соотношение сторон $l_i / l_A = 1/1,263$ (рис. 5, б) и рассчитан на нагрузку $\delta_\delta = 2,1 \text{ кН/м}^2$ ($\delta_i = 0,8\delta_\delta = 1,7 \text{ кН/м}^2$ – нормативная нагрузка), которая на заключительном этапе нагружения была превышена на 20%, то есть $\delta = 1,2\delta_\delta = 1,2 \times 2,1 = 2,52 \text{ кН/м}^2 = 252 \text{ кгс/м}^2$.

Чтобы рассчитать общий прогиб опытного блока, предварительно целесообразно вычислить ординату центра тяжести и момент инерции сечения его контурных и внутренних ферм (рис. 5, в):

$$\delta_0 = (24,96 \times 160 + 21,76 \times 10) / (24,96 + 21,76) = 90,14 \text{ см};$$

$$I_x = 1013 + 24,96 \times 69,86^2 + 671,3 + 21,76 \times 80,14^2 = 263251 \text{ см}^4.$$

В блоке с размерами $l_A \times l_A = 19,2 \times 19,2 \text{ м}$ соответствующая нагрузка составит $p_A = p l_M / l_A = 252 \times 15,2 / 19,2 = 199,50 \text{ кгс/м}^2$ и $p_i = p l_A / l_i = 252 \times 19,2 / 15,2 = 318,32 \text{ кгс/м}^2$ в блоке с размерами $l_i \times l_i = 15,2 \times 15,2 \text{ м}$.

Тогда общий прогиб опытного блока равен

$$\begin{aligned} f &= k_{fu} (f_{1A} + f_{2i}) = k_{fu} (0,00815 k_{fpA} \delta_A \delta_A l_A^4 + 0,00375 k_{fpM} l_M^5) / (EI_x k_I) = \\ &= 1,1(0,00815(1 + 2,4 \times 150/1920)0,019950 \times 960 \times 1920^4 + \\ &\quad + 0,00375(1 + 150/1520)0,031832 \times 1520^5) / (2100000 \times 26351 \times 1,1) = \\ &= 1,1(4,556 + 2,167) = 7,396 \end{aligned} \quad \text{см}$$

или

$$\begin{aligned} f &= k_{fu} (f_{1i} + f_{2A}) = k_{fu} (0,00815 k_{fpI} \delta_i \delta_i l_i^4 + 0,00375 k_{fpA} l_A^5) / (EI_x k_I) = \\ &= 1,1(0,00815(1 + 2,4 \times 150/1520)0,031832 \times 760 \times 1520^4 + \\ &\quad + 0,00375(1 + 150/1920)0,031832 \times 1920^5) / (2100000 \times 26351 \times 1,1) = \\ &= 1,1(2,355 + 4,193) = 7,202 \end{aligned} \quad \text{см},$$

то есть погрешность приближенного расчета составляет

$$100(7,396 - 7,202) / (7,396 + 7,202) = 2,62...2,69\%,$$

а осредненное значение общего прогиба имеет величину

$$(7,396 + 7,202) / 2 = 7,299 \text{ см} = 73,0 \text{ мм} = l_A / 263 = l_i / 208.$$

Если подытожить контрольную проверку, то есть основания признать ее достаточно корректной.

Некоторые результаты натурных испытаний

Итоги приведенного примера расчета прогибов вполне удовлетворительно совпадают также и с результатами численных исследований, и с экспериментальными данными натурных испытаний (рис. 8, а). Здесь разницу экспериментальных прогибов центральных узлов верхних и нижних поясов можно объяснить наличием в уровне верхних поясов жесткого диска из профилированных листов, которые крепили к поясам и прогонам через волну при помощи дюбелей (нагелей) диаметром 5 мм. При этом использовали дюбеля, которые были в два раза длиннее обычных, из-за чего после пристрелки шляпки таких дюбелей выступали на 5...10 мм, что в дальнейшем после испытания значительно облегчило демонтаж блока покрытия и обеспечило разборку настила без каких-либо его повреждений. Несущие и ограждающие конструкции блока покрытия были смонтированы повторно для постоянной эксплуатации на одном из объектов ЦКБТО «Нейтрон» в Ереване.

Значения продольных сил в стержневых элементах перекрестных стальных ферм опытно-промышленного блока, найденные по итогам приближенного расчета, совпали с результатами численных и экспериментальных исследований так же удовлетворительно, как и прогибы (рис. 8, б).

Таким образом, приближенный расчет перекрестных систем на статические воздействия отличается необходимой простотой и вполне допустимой точностью, что позволяет применять его на разных стадиях рабочего проектирования металлических

конструкций зданий и сооружений, сокращая до минимума сложности их численных и экспериментальных исследований.

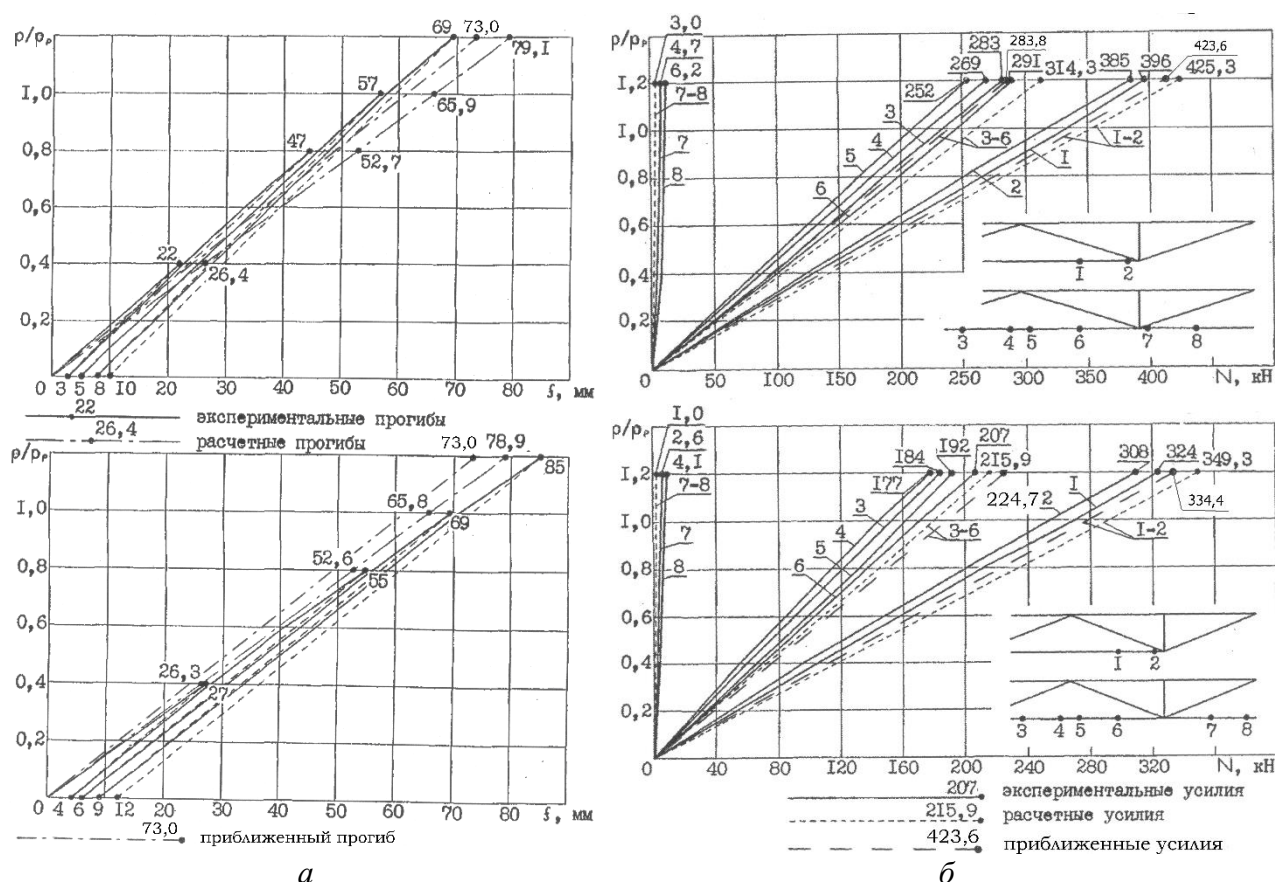


Рисунок 8. Графики зависимости «прогибы – нагрузка» центральных узлов блока покрытия в уровне верхних и нижних поясов (а), а также графики зависимости «осевые силы – нагрузка» нижних поясов ферм по осям «А», «Б», «3» и «2» (б)

Заключение

Подводя некоторые итоги, можно сделать основной вывод, что приведенный расчет ортогональной системы перекрестных стальных ферм еще раз подтверждает достаточную простоту и приемлемую точность приближенных выкладок таких систем на статические и динамические воздействия, а также допустимость их применение на различных стадиях проектирования несущих конструкций зданий и сооружений. И в заключение небольшая ремарка о пользе приближенного расчета перекрестных систем на статические и динамические (сейсмические) воздействия. Тридцать лет назад, когда произошло разрушительное землетрясение в Спитаке, такой расчет стал весьма востребованным инструментом для разработки проектно-сметной документации несущих конструкций различных зданий и сооружений. Спустя двадцать лет он оказался не менее эффективным в учебном процессе, курсовом и дипломном проектировании, где достаточно детально был проработан ряд новых технических решений, что позволило внедрить их в практику строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конструктивные решения зданий и сооружений / В.С. Волга, И.П. Гордеев, С.Б. Дехтяр и др. // Киев: Будивельник, 1985. 120 с.
2. Domus 29(02)2011 (Архитектура). Спортивный интерес. Ледовый дворец. Электронный ресурс http://vgip.ru/files/publication/ledovii_dvorec.pdf (дата обращения 24.09.2017).
3. Минцковский М.Ш. Перекрестные фермы // Киев. Академия строительства и архитектуры. 1950. 267 с.

4. Гурари М.Д. К вопросу о проектировании покрытий из перекрестных ферм и балок // Строительная механика и расчет сооружений. 1960. № 2. С. 42–46.
5. Калинин А.А., Цитович О.А. Испытание покрытия с перекрестными стальными фермами // Промышленное строительство. 1971. № 8. С. 44–45.
6. Абовян Г.А. Металлические конструкции // Ереван. Луйс. 1977. С. 453–457.
7. Диденко В.Н. Эффективность структурных большепролетных покрытий квадратных и прямоугольных в плане зданий // Пространственные конструкции зданий и сооружений. М. Стройиздат. 1985. Вып. 4. С. 189–198.
8. Шагинян С.Г., Аванесов С.И., Марутян А.С. Пространственные покрытия зданий и сооружений // НТО стройиндустрии. М. Стройиздат. 1988. 48 с.
9. Турков А.В., Ветрова О.А., Марфин К.В. Прогибы и частоты собственных колебаний систем перекрестных ферм на квадратном плане с различными схемами опирания // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 11. С. 42–45.
10. Марутян А.С., Абовян А.Г. Прогибы и периоды собственных колебаний систем перекрестных ферм из парных уголков и трубчатых профилей при различных схемах опирания // Бюллетень строительной техники. 2021. № 5. С. 46–51.
11. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко // М.: ЦИТП. 1989. С. 79–83.
12. Трофимов В.И., Каминский А.М. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений // М. Издательство АСВ. 2002. С. 122–132.
13. Марутян А.С. Проектирование стальных перекрестных ферм // Кисловодск. ЗАО Завод металлоконструкций. 2002. 80 с.
14. J.A. Packer, J. Wardenier, X.-L. Zhao, G.J. van der Vegte and Y. Kurobane. Construction with hollow steel sections. Design Guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading // CIDECT, 2009. – 156 p.
15. Марутян А.С. Легкие металлоконструкции из перекрестных систем // Пятигорск: РИА КМВ, 2009. 348 с.
16. Марутян А.С., Ашчян Т.А. Сейсмостойкое строительство из легких металлоконструкций с учетом инженерных геофизических и геологических изысканий // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. № 5. С. 95–100.
17. Марутян А.С. Проектирование легких металлических конструкций из перекрестных систем, включая модули типа «Пятигорск». Справочное пособие // Пятигорск: СКФУ, 2012. 436 с.
18. Марутян А.С., Кобаля Т.Л. Сейсмостойкие конструкции из перекрестных систем, включая модули «Пятигорск», и приближенный расчет их колебаний // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. № 6. С. 82–94.
19. Назарова Е.В., Хажнагоева Р.А., Аветян Н.Ю., Марутян А.С. Гибкий верхний этаж из легких металлоконструкций с использованием структурных систем // Современная наука и инновации. 2022. № 2 (38). С. 118–122.
20. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «45 лет отрасли легких металлоконструкций: от модуля Кисловодск до модуля Пятигорск» (03–05.04.2017) / Под ред. Марутяна А.С., Файбищенко В.К., Вартумяна А.А. // Пятигорск: СКФУ, 2017. 262 с.
21. Проектирование металлических конструкций. Часть 2. Металлические конструкции. Специальный курс. Учебник для вузов / Под общ. ред. А.Р. Туснина. М.: Издательство «Перо», 2020. С. 329–333.
22. Системы перекрестных балок. Методика расчета и таблицы // М.: Гипротис, 1964. 208 с.
23. Рекомендации по проектированию структурных конструкций / ЦНИИСК им. Кучеренко // М.: Стройиздат, 1984. С. 112–115, 144–155.
24. Динамический расчет зданий и сооружений / Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича // М.: Стройиздат, 1984. С. 139.

REFERENCES

1. Konstruktivnye resheniya zdaniy i sooruzhenij / V.S. Volga, I.P. Gordeev, S.B. Dekhtyar i dr. // Kiev: Budivel'nik, 1985. 120 s.
2. Domus 29(02)2011 (Arkhitektura). Sportivnyj interes. Ledovyj dvorec. Ehlektronnyj resurs http://vgip.ru/files/publication/ledovii_dvorec.pdf (data obrashcheniya 24.09.2017).
3. Minckovskij M.SH. Perekrestnye fermy // Kiev. Akademiya stroitel'stva i arkhitektury. 1950. 267 s.
4. Gurari M.D. K voprosu o proektirovanii pokrytij iz perekrestnykh ferm i balok // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 1960. № 2. S. 42–46.
5. Kalinin A.A., Citovich O.A. Ispytanie pokrytiya s perekrestnymi stal'nymi fermami // Promyshlennoe stroitel'stvo. 1971. № 8. S. 44–45.
6. Abovyan G.A. Metallicheskie konstrukcii // Erevan. Lujs. 1977. S. 453–457.
7. Didenko V.N. Ehffektivnost' strukturnykh bol'sheproletnykh pokrytij kvadratnykh i pryamougol'nykh v plane zdaniy // Prostranstvennye konstrukcii zdaniy i sooruzhenij. M. Strojizdat. 1985. Vyp. 4. S. 189–198.
8. Shaginyan S.G., Avanesov S.I., Marutyan A.S. Prostranstvennye pokrytiya zdaniy i sooruzhenij // NTO strojindustrii. M. Strojizdat. 1988. 48 s.
9. Turkov A.V., Vetrova O.A., Marfin K.V. Progiby i chastoty sobstvennykh kolebanij sistem perekrestnykh ferm na kvadratnom plane s razlichnymi skhemami opiraniya // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. № 11. S. 42–45.
10. Marutyan A.S., Abovyan A.G. Progiby i periody sobstvennykh kolebanij sistem perekrestnykh ferm iz parnykh ugolkov i trubchatykh profilej pri razlichnykh skhemakh opiraniya // Byulleten' stroitel'noj tekhniki. 2021. № 5. S. 46–51.
11. Posobie po proektirovaniyu stal'nykh konstrukcij (k SNIP II-23-81*) / CNIISK im. V.A. Kucherenko // M.: CITP. 1989. S. 79–83.
12. Trofimov V.I., Kaminskij A.M. Legkie metallicheskie konstrukcii zdaniy i sooruzhenij // M. Izdatel'stvo ASV. 2002. S. 122–132.
13. Marutyan A.S. Proektirovanie stal'nykh perekrestnykh ferm // Kislovodsk. ZAO Zavod metallokonstrukcij. 2002. 80 s.
14. J.A. Packer, J. Wardenier, X.-L. Zhao, G.J. van der Vegte and Y. Kurobane. Construction with hollow steel sections. Design Guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading // CIDECT, 2009. – 156 r.
15. Marutyan A.S. Legkie metallokonstrukcii iz perekrestnykh sistem // Pyatigorsk: RIA KMV, 2009. 348 s.
16. Marutyan A.S., Ashchyan T.A. Sejsmostojkoe stroitel'stvo iz legkikh metallokonstrukcij s uchetom inzhenernykh geofizicheskikh i geologicheskikh izyskanij // Groznenskij estestvennonauchnyj byulleten'. 2018. № 5. S. 95–100.
17. Marutyan A.S. Proektirovanie legkikh metallicheskich konstrukcij iz perekrestnykh sistem, vklyuchaya moduli tipa «Pyatigorsk». Spravochnoe posobie // Pyatigorsk: SKFU, 2012. 436 s.
18. Marutyan A.S., Kobaliya T.L. Sejsmostojkie konstrukcii iz perekrestnykh sistem, vklyuchaya moduli «Pyatigorsk», i priblizhennyj raschet ikh kolebanij // Groznenskij estestvennonauchnyj byulleten'. 2018. № 6. S. 82–94.
19. Nazarova E.V., Khaznagoeva R.A., Avetyan N.YU., Marutyan A.S. Gibkij verkhnij ehtazh iz legkikh metallokonstrukcij s ispol'zovaniem strukturnykh sistem // Sovremennaya nauka i innovacii. 2022. № 2 (38). S. 118–122.
20. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «45 let otrasli legkikh metallokonstrukcij: ot modulya Kislovodsk do modulya Pyatigorsk» (03–05.04.2017) / Pod. red. Marutyana A.S., Fajbishenko V.K., Vartumyana A.A. // Pyatigorsk: SKFU, 2017. 262 s.
21. Proektirovanie metallicheskich konstrukcij. Chast' 2. Metallicheskie konstrukcii. Special'nyj kurs. Uchebnik dlya vuzov / Pod obshch. red. A.R. Tushina. M.: Izdatel'stvo «PerO», 2020. S. 329–333.

22. Sistemy perekrestnykh balok. Metodika rascheta i tablicy // М.: Giprotis, 1964. 208 s.

23. Rekomendacii po proektirovaniyu strukturnykh konstrukcij / CNIISK im. Kucherenko // М.: Strojizdat, 1984. S. 112–115, 144–155.

24. Dinamicheskij raschet zdaniy i sooruzhenij / Pod red. B.G. Koreneva, I.M. Rabinovicha // М.: Strojizdat, 1984. S. 139.

ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS

Назарова Екатерина Владимировна, студентка 3 курса колледжа, Пятигорский институт (филиал) СКФУ, E-mail: nazarova2004katy@mail.ru

Nazarova Ekaterina V., 3rd year college student, Pyatigorsk Institute (branch) of NCFU, E-mail: nazarova2004katy@mail.ru

Аветян Нарина Юрьевна, преподаватель колледжа, Пятигорский институт (филиал) СКФУ, E-mail: n.avetyan@bk.ru

Narine Avetyan, college teacher, Pyatigorsk Institute (branch) of NCFU, E-mail: n.avetyan@bk.ru

Марутян Александр Сурэнович, кандидат технических наук, доцент, преподаватель колледжа, ведущий научный сотрудник отдела проектно-грантовой деятельности, Пятигорский институт (филиал) СКФУ, E-mail: al_marut@mail.ru

Marutya Alexander Surenovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, college lecturer, leading researcher of the Department of Project and Grant Activities, Pyatigorsk Institute (branch) of NCFU, E-mail: al_marut@mail.ru

Дата поступления в редакцию: 12.10.2022

После рецензирования: 23.11.2022

Дата принятия к публикации: 13.12.2022