

УДК 691.714.122

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЙ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ПЕРЕКРЕСТНО- СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ И ПЛОСКИХ ФЕРМ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИХ МЕТАЛЛОЁМКОСТИ

Стafeев Э.А., студент гр. СПбп-141, IV курс

Белова Е.М., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф.Горбачева

г.Кемерово

Для перекрытия зданий, занимающих большие площади и имеющих значительные пролеты, принимаются, как правило, пространственные конструкции покрытия. В данной статье рассматриваются 2 варианта покрытия здания размерами 48×48м:

- первый вариант предусматривает применение перекрестно-стержневой системы;

- во втором варианте принято сочетание плоских стропильных и подстропильных ферм.

Целью расчета является сравнение металлоёмкости конструкций покрытия по указанным вариантам.

Для расчета перекрестно-стержневой системы (структурьы) выбрана расчетная схема, представленная двумя равными группами плоских ферм, перпендикулярных друг другу, причем в отличие от поясов раскосы принадлежат сразу двум взаимно-перпендикулярным фермам (схема "а", рис.1) Кроме этого группы параллельных ферм можно представить как балку (или ферму) на двух опорах, сведя распределение нагрузок с площади кровли поровну на две взаимно-перпендикулярные балки (фермы) (схема "б", рис.1). Следовательно нагрузка от кровли делится пополам между двумя взаимно-перпендикулярными группами ферм, где каждая ферма несет равную нагрузку. При этом пояса всех ферм являются равными и находятся решением плоской фермы. Раскосы же, участвуя в работе двух взаимно-перпендикулярных ферм и находясь под углом 45° относительно поясов, решаются геометрическим суммированием сил в решетке плоских взаимно-перпендикулярных ферм.



Рис.1. Схемы приведения структуры к плоской расчетной схеме: а - структура, как 2 группы взаимно-перпендикулярных ферм, б - взаимно-перпендикулярные фермы.

Для дальнейших расчетов принята структура высотой 2,12м из стержней длиной 3м трубчатого сечения.

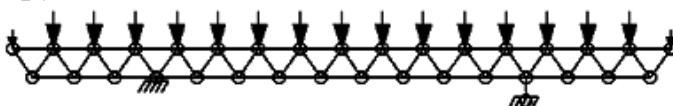


Рис.2. Расчетная схема для определения сил в стержнях условно плоской фермы.

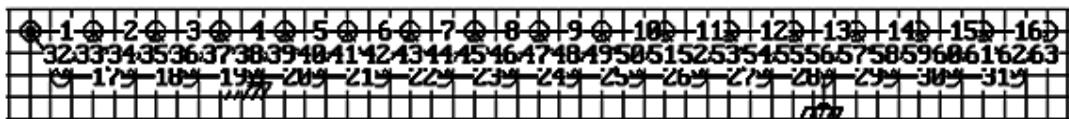


Рис.3. Схема нумерации стержней.

Таблица 1

Определение продольных сил в стержнях параллельных групп ферм

Стерженъ	N	Стерженъ	N	Стерженъ	N	Стерженъ	N
1	152,8	17	-305,7	33	264,6	49	264,6
2	764,2	18	-1222,6	34	-793,8	50	-793,8
3	1986,8	19	-2750,9	35	793,8	51	793,8
4	3820,8	20	-2445,3	36	-1323,0	52	-1323,0
5	1375,5	21	-305,7	37	1323,0	53	1323,0
6	-458,5	22	1222,6	38	-1852,2	54	-1852,2
7	-1681,1	23	2139,6	39	-2381,4	55	1852,2
8	-2292,5	24	2445,3	40	1852,2	56	-2381,4
9	-2292,5	25	2445,3	41	-1852,2	57	-1852,2
10	-1681,1	26	1222,6	42	1323,0	58	1323,0
11	-458,5	27	-305,7	43	-1323,0	59	-1323,0
12	1375,5	28	-2445,3	44	793,8	60	793,8
13	3820,8	29	-2750,9	45	-793,8	61	-793,8
14	1986,8	30	-1222,6	46	264,6	62	264,6
15	764,2	31	-305,7	47	-264,6	63	-264,6
16	152,8	32	-264,6	48	-264,6		

Таблица 2

Расчет металлоёмкости структуры из труб

C / P	№	Сила с табл, кН	Сила N, кН	R(мм), t(мм)	I, см4	A, см2	i, см	$\lambda < 120(c) < 400(p)$	Ф	Nult раст	Nult сжат	N/Nult раст	N/Nult сжат	m, кг/м	m, кг	Кол-во	M, кг
B e p x	P 1	152.8	8.99	57; 3	18.61	5.09	1.9	156.89		122.2		0.074		4	12	68	816
	P 2	764.2	44.95	57; 3	18.61	5.09	1.9	156.89		122.2		0.368		4	12	68	816
	P 3	1986.8	116.87	57; 3	18.61	5.09	1.9	156.89		122.2		0.957		4	12	68	816
	P 4	3820.8	224.75	108; 3	136.5	9.9	3.7	80.796		237.6		0.946		7.77	23.3	68	1585.1
	P 5	1375.5	80.91	57; 3	18.61	5.09	1.9	156.89		122.2		0.662		4	12	68	816
	C 6	458.5	26.97	76; 3	45.91	6.88	2.6	116.13	0.5		82.3		0.328	5.4	16.2	68	1101.6
	C 7	1681.1	98.89	83; 3	60.4	7.54	2.8	106	0.57		102.8		0.962	5.92	17.8	68	1207.7
	C 8	2292.5	134.85	95; 3	97.33	9.23	3.2	92.384	0.67		148.6		0.908	7.24	21.7	68	1477
H и з	C 17	305.7	19.11	76; 3	45.91	6.88	2.6	116.13	0.5		82.3		0.232	5.4	16.2	64	1036.8
	C 18	1222.6	76.41	76; 3	45.91	6.88	2.6	116.13	0.5		82.3		0.928	5.4	16.2	64	1036.8
	C 19	2750.9	171.93	108; 3	136.5	9.9	3.7	80.796	0.76		179.4		0.958	7.77	23.3	64	1491.8
	C 20	2445.3	152.83	102; 3	114.3	9.33	3.5	85.704	0.72		161.4		0.947	7.32	22	64	1405.4
	C 21	305.7	19.11	76; 3	45.91	6.88	2.6	116.13	0.5		82.3		0.232	5.4	16.2	64	1036.8
	P 22	1222.6	76.41	57; 3	18.61	5.09	1.9	156.89		122.2		0.626		4	12	64	768
	P 23	2139.6	133.73	63.5; 3	26.15	5.7	2.1	140.06		136.8		0.978		4.48	13.4	64	860.16
	P 24	2445.3	152.83	73; 3	40.48	6.6	2.5	121.14		158.4		0.965		5.18	15.5	32	497.28

Продолжение таблицы 2

	C 1		-210.45	127; 3	224.8	11.69	4.4	68.419	0.83		233.1		0.903	9.17	27.5	4	110.04
	C 2		-187.08	114; 3	161.2	10.46	3.9	76.41	0.78		196.9		0.95	8.21	24.6	16	394.08
	C 3		-163.71	108; 3	136.5	9.9	3.7	80.796	0.76		179.4		0.912	7.77	23.3	32	745.92
	C 4		-140.31	95; 3	97.33	9.23	3.2	92.384	0.67		148.6		0.944	7.24	21.7	40	868.8
	C 5		-116.94	89; 3	75.02	8.11	3	98.638	0.62		121.3		0.964	6.36	19.1	64	1221.1
P	C 6		-93.55	83; 3	60.4	7.54	2.8	106	0.57		102.8		0.91	5.92	17.8	80	1420.8
е	C 7		-70.16	76; 3	45.91	6.88	2.6	116.13	0.5		82.3		0.853	5.4	16.2	96	1555.2
ш	C 8		-46.78	76; 3	45.91	6.88	2.6	116.13	0.5		82.3		0.568	5.4	16.2	112	1814.4
е	C 9		-23.39	76; 3	45.91	6.88	2.6	116.13	0.5		82.3		0.284	5.4	16.2	120	1944
т	C 10		0.00	76; 3	45.91	6.88	2.6	116.13	0.5		82.3		0	5.4	16.2	112	1814.4
к	P 11		23.39	57; 3	18.61	5.09	1.9	156.89		122.2		0.191		4	12	96	1152
а	P 12		46.78	57; 3	18.61	5.09	1.9	156.89		122.2		0.383		4	12	80	960
	P 13		70.16	57; 3	18.61	5.09	1.9	156.89		122.2		0.574		4	12	64	768
	P 14		93.55	57; 3	18.61	5.09	1.9	156.89		122.2		0.766		4	12	48	576
	P 15		116.94	57; 3	18.61	5.09	1.9	156.89		122.2		0.957		4	12	32	384
	P 16		140.31	70; 3	35.5	6.31	2.4	126.48		151.4		0.927		4.96	14.9	16	238.08
	P 17		163.71	76; 3	45.91	6.88	2.6	116.13		165.1		0.991		5.4	16.2	12	194.4
															2048	32930	

Далее рассмотрим вариант покрытия из плоских ферм, где нагрузка последовательно передается от стропильных ферм к подстропильным (рис.4).

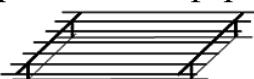


Рис.4. Схема покрытия из плоских ферм

Расчетная схема стропильной фермы принята аналогичной расчетной схеме структуры (рис.2). С целью чистоты эксперимента сравнения металлоёмкости конструкций запроектирована высота фермы, равная высоте структуры - 2,12м, с длиной раскоса - 2,6м. Стропильные фермы выполнены из парных прокатных уголков, а подстропильные - из прокатных парных уголков и прокатных двутавров. Пояса ферм раскреплены горизонтальными связями через 6м, а в плоскости ферм применены решетчатые крепления с шагом 3м.

Таблица 3

Расчет продольных сил в стержнях стропильной фермы

Стріжень	N	Стріжень	N	Стріжень	N	Стріжень	N
1	19,2	17	-38,2	33	33,1	49	33,1
2	95,5	18	-152,8	34	-99,2	50	-99,2
3	248,3	19	-343,9	35	99,2	51	99,2
4	477,6	20	-305,7	36	-165,4	52	-165,4
5	171,9	21	-38,2	37	165,4	53	165,4
6	-57,3	22	152,8	38	-231,5	54	-231,5
7	-218,1	23	267,5	39	-297,7	55	231,5
8	-286,6	24	305,7	40	231,5	56	-297,7
9	-286,6	25	267,5	41	-231,5	57	-231,5
10	-210,1	26	152,8	42	165,4	58	165,4
11	-57,3	27	-38,2	43	-165,4	59	-165,4
12	171,9	28	-305,7	44	99,2	60	99,2
13	477,6	29	-343,9	45	-99,2	61	-99,2
14	248,3	30	-152,8	46	33,1	62	33,1
15	95,5	31	-38,2	47	-33,1	63	-33,1
16	19,1	32	-33,1	48	-33,1		

Таблица 4

Расчет продольных сил в стержнях подстропильной фермы

Стержень	N								
1	160,6	18	-642,5	35	278,1	52	-814,0	69	0
2	481,8	19	-1590,6	36	-820,7	53	814,0	70	0
3	1116,5	20	-1281,0	37	820,7	54	-814,0	71	0
4	2064,6	21	-340,7	38	-820,7	55	814,0	72	0
5	810,8	22	599,6	39	-1356,7	56	-1356,7	73	0
6	-129,5	23	913,1	40	814,0	57	-814,0	74	0
7	-756,4	24	1226,5	41	-814,0	58	814,0	75	-642,5
8	-1069,8	25	913,1	42	814,0	59	-814,0	76	-1281,0
9	-1069,8	26	599,6	43	-814,0	60	271,3	77	599,6
10	-756,4	27	-340,7	44	271,3	61	-271,3	78	1226,5
11	-129,5	28	-1281,0	45	-271,3	62	271,3	79	599,6
12	810,8	29	-1590,6	46	271,3	63	-271,3	80	-1281,0
13	2064,6	30	-642,5	47	-271,3	64	0	81	-642,5
14	1116,5	31	-321,2	48	-271,3	65	0		
15	481,8	32	-278,1	49	271,3	66	0		
16	160,6	33	278,1	50	-271,3	67	0		
17	-321,2	34	-278,1	51	271,3	68	0		

Таблица 5

Расчет металлоёмкости стропильных ферм из парных уголков

Уголок / P	С табл №	Сила N, кН	Ip (b), см	Ip (из), см	№ (см), t (мм)	x0, см	I0, см ⁴	I (из), см ⁴	A, см ²	i (из), см	λ (в) <120(c) <400(p)	λ (из) <120(c) <400(p)	φ (в)	φ (из)	Nult раст, кН	Nult ск (в), кН	Nult ск (из), кН	N/Nult раст	N/Nult ск (в)	N/Nult ск (из)	m, кг/м	m, кг	Кол- во	M, кг		
1	P	4	478	300	600	12,5; 9	3,4	327,5	655	686	22	5,5	5,6	54.983	107,45			528			0,9045		17,3	208	18	3736,8
2	C	8	287	300	600	14; 9	3,8	465,7	931,4	969,4	24,7	6,1	6,3	48,873	95,814	0,8	0,51	474,7	305,2	0,6037	0,939	19,4	233	18	4192,6	
3	C	19	344	300	600	16; 10	4,3	774,2	1548	1603	31,4	7	7,1	42,741	84,019	0,83	0,59	628,5	442	0,5471	0,7779	24,7	296	18	5328,7	
4	P	24	306	300	600	11; 7	3	175,6	351,2	370,4	15,2	4,8	4,9	62,307	121,34			363,6			0,8406		10,1	106	18	1901,3
5	C	32	33,1	208	260	5; 4	1,4	9,21	18,42	21,59	3,89	2,2	2,4	95,586	110,37	0,52	0,43	48,15	40,59	0,6871	0,815	3,05	7,9	18	142,74	
6	P	33	33,1	208	260	2,5; 3	0,7	0,81	1,62	2,559	1,43	1,1	1,3	195,42	194,36			34,32			0,9639		1,12	2,9	18	52,416
7	C	34	9,23	208	260	5; 4	1,4	9,21	18,42	21,59	3,89	2,2	2,4	95,586	110,37	0,52	0,43	48,15	40,59	0,1917	0,2274	3,05	7,9	18	142,74	
8	P	35	9,23	208	260	2; 3	0,6	0,4	0,8	1,509	1,13	0,8	1,2	247,21	225,01			27,12			0,3403		0,89	2,3	18	41,652
9	C	36	165	208	260	9; 6	2,4	82,1	164,2	175,9	10,6	3,9	4,1	52,873	63,853	0,78	0,71	198	181,4	0,8353	0,9115	8,33	22	18	389,84	
10	P	37	165	260	260	7,5; 5	2	39,53	79,06	86,34	7,39	3,3	3,4	79,491	76,064			177,36			0,9325		5,8	15	18	271,44
11	C	38	232	260	260	10; 7	2,7	130,6	261,2	277,5	13,8	4,4	4,5	59,656	57,872	0,74	0,75	243,5	247		0,9508	0,9373	10,8	28	18	504,97
12	C	39	298	208	260	12,5; 9	3,4	327,5	655	686	22	5,5	5,6	38,121	46,561	0,86	0,81	452,6	429,1	0,6578	0,6937	17,3	45	18	809,64	
13	P	40	232	208	260	9; 6	2,4	82,1	164,2	175,9	10,6	3,9	4,1	52,873	63,853			254,64			0,9092		8,33	22	18	389,84
14	C	41	232	208	260	10; 7	2,7	130,6	261,2	277,5	13,8	4,4	4,5	47,725	57,872	0,81	0,75	266,1	247		0,8701	0,9373	10,8	28	18	504,97
15	P	42	165	208	260	7,5; 5	2	39,53	79,06	86,34	7,39	3,3	3,4	63,593	76,064			177,36			0,9325		5,8	15	18	271,44
16	C	43	165	208	260	9; 6	2,4	82,1	164,2	175,9	10,6	3,9	4,1	52,873	63,853	0,78	0,71	198	181,4	0,8353	0,9115	8,33	22	18	389,84	
17	P	44	9,23	208	260	2; 3	0,6	0,4	0,8	1,509	1,13	0,8	1,2	247,21	225,01			27,12			0,3403		0,89	2,3	18	41,652
18	C	45	9,23	208	260	5; 4	1,4	9,21	18,42	21,59	3,89	2,2	2,4	95,586	110,37	0,52	0,43	48,15	40,59	0,1917	0,2274	3,05	7,9	18	142,74	
19	P	46	33,1	208	260	2,5; 3	0,7	0,81	1,62	2,559	1,43	1,1	1,3	195,42	194,36			34,32			0,9639		1,12	2,9	18	52,416
20	C	47	33,1	208	260	5; 4	1,4	9,21	18,42	21,59	3,89	2,2	2,4	95,586	110,37	0,52	0,43	48,15	40,59	0,6871	0,815	3,05	7,9	18	142,74	

360 19451

Таблица 6

Расчет металлоёмкости подстропильных ферм из парных уголков и
двутавров

	Уголок	C / P	№ ст/бп	Сила N, кН	Ip (в), см	Ip (из), см	№ (см), t (мм)	x0, см	Io, см4	I (в), см4	I (из), см4	A, см2	i (в), см	i (из), см	λ (в) <120(c) <400(p)	λ (из) <120(c) <400(p)	ϕ (в)	ϕ (из)	Nult раст, кН	Nult ск (в), кН	Nult ск (из), кН	N/Nult ск (в)	N/Nult ск (из)	m, кг/м	m, кг	Кол-во	M, кг
Верх	1	P	4	2065	300	600	25; 18	6.8	5247	10494	10740	87.7	11	11	27.428	54.225			2105.3			0.9807		68.9	826	4	3305.3
	2	C	8	1070	300	600	22; 16	6	3175	6351	6517	68.6	9.6	9.7	31.175	61.548	0.89	0.73		1468	1196	0.7289	0.8946	53.8	646	4	2583.8
	3	C	19	1591	300	600	25; 18	6.8	5247	10494	10740	87.7	11	11	27.428	54.225	0.91	0.77		1916	1621	0.8304	0.9814	68.9	826	4	3305.3
	4	P	24	1227	300	600	20; 14	5.5	2097	4194	4313	54.6	8.8	8.9	34.23	67.505			1310.4			0.936		42.8	514	4	2054.4
Низ	5	C	32; 34	278	208	260	11; 7	3	175.6	351.2	370.4	15.2	4.8	4.9	43.2	52.582	0.83	0.78		302.1	283.3	0.9207	0.9815	11.9	31	8	247.31
	6	P	33;35	278	208	260	10; 7	2.7	130.6	261.2	277.5	13.8	4.4	4.5	47.725	57.872			330			0.8427		10.8	28	8	224.43
	9	C	36; 38	821	260	260	18; 11	4.9	1216	2433	2508	38.8	7.9	8	32.834	32.338	0.88	0.89		822.8	825.1	0.9974	0.9947	30.5	79	8	633.78
	10	P	37	821	260	260	16; 11	4.4	844.2	1688	1749	34.4	7	7.1	37.123	36.478			826.08			0.9935		27	70	4	281.01
Ш	12	C	39	1357	208	260	22; 16	6	3175	6351	6517	68.6	9.6	9.7	21.614	26.671	0.94	0.91		1543	1504	0.8793	0.9024	53.8	140	4	559.83
	13	P	40; 42	814	208	260	16; 11	4.4	844.2	1688	1749	34.4	7	7.1	29.698	36.478			826.08			0.9854		27	70	8	562.02
	14	C	41; 43	814	208	260	18; 11	4.9	1216	2433	2508	38.8	7.9	8	26.268	32.338	0.92	0.89		852.4	825.1	0.9549	0.9866	30.5	79	8	633.78
	17	P	44; 46	271	208	260	10; 7	2.7	130.6	261.2	277.5	13.8	4.4	4.5	47.725	57.872			330			0.8221		10.8	28	8	224.43
а	18	C	45; 47	271	208	260	11; 7	3	175.6	351.2	370.4	15.2	4.8	4.9	43.2	52.582	0.83	0.78		302.1	283.3	0.8982	0.9575	11.9	31	8	247.31
	19																						108	229	18	4121.3	
																											98 18984
																											458 38434

Таблица 7

Расчет металлоёмкости связей и распорок и металлоёмкости покрытия из плоских ферм

			Ip в пл-ти, см	Ip из пл-ти, см	№ (см), t (мм)	x0, см	Io, см4	I (в), см4	I (из), см4	A, см2	i (в), см	i (из), см	λ (в) <200	λ (из) <200	Масса уголка, кг/м	Масса стержня, кг	Кол-во	Масса стержней, кг
	Горизонт. связи		424	424	5; 4	1.38	9.21	21.59	21.59	3.89	2.36	2.36	180	179.99	3.05	12.932	128	1655.296
	Распорки														3.05	18.3	108	1976.4
																		3631.696
	Итого:																	42066.184

Из приведенных результатов расчетов видно, что масса всех элементов покрытия из плоских ферм составила по приближительному расчету 42т, что на 9т больше массы структурного покрытия, составившей 33т. Для данного здания покрытие из плоских ферм оказалось на 27% более металлоёмким, чем структурное. Это значение ниже ожидаемого, т.к. пролет относительно невелик для структурного покрытия, из-за чего множество его стержней были приняты по предельной гибкости и минимальному сечению проката труб, а не по несущей способности. С ростом пролета и/или нагрузки отношение металлоемкости покрытия из плоских ферм к металлоёмкости структурного покрытия будет стремиться к 2, т.к. в плоских фермах нагрузка последовательно передается от стропильных ферм к подстропильным. Также покрытие из плоских ферм требует устройства системы связей и распорок в покрытии, в структуре же роль связей выполняют ее раскосы.

Структурное покрытие выгодно при больших пролетах, нагрузках и шагах колонн. При малых пролетах, шагах и нагрузках структура будет неэффективна из-за того, что нагрузка будет распределяться на большое количество стержней, которые имея малое сечение, относительно своей длины, будут иметь малый коэффициент устойчивости и большую гибкость, что воспрепятствует подбору малых сечений, полностью использующих свою несущую способность.