

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ ИЗ ПАРНЫХ УГОЛКОВ

О.Ю. Марахина, Д.А. Кузьмин
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы возникновения и влияния изгибающих моментов на несущую способность стержней ферм из парных уголков на листовых фасонках. Сопоставлены результаты исследований с требованиями действующих Норм в строительстве. Определены дополнительные условия возникновения догружающих внутренних усилий в фермах, помимо общепринятых. По результатам исследований предложен инженерный способ учета влияния изгибающих моментов в стержнях ферм из парных уголков при поверочных расчетах и проектировании стропильных ферм. Поставлены задачи дальнейших исследований.

Ключевые слова: несущая способность, внецентренное нагружение стержня фермы, стропильная ферма, общая устойчивость, коэффициенты условий работы.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение во многих областях строительства получили стальные фермы. Их применяют в покрытиях и перекрытиях промышленных и гражданских зданий, мостах, опорах линий электропередач и т.д. В зависимости от назначения, условий эксплуатации, архитектурных требований и схемы приложения нагрузок фермы могут иметь самую разнообразную конструктивную форму – от легких прутковых конструкций до тяжелых ферм, стержни которых komponуются из нескольких элементов крупных профилей.

Одними из наиболее распространенных являются стальные фермы со стержнями из парных уголков, объединенных фасонками. Такие сечения имеют большой диапазон площадей, удобны для конструирования узлов и прикрепления примыкающих к фермам конструкций (прогонов, кровельных панелей, связей и т.п.). Фермы из парных уголков также применяют в сочетании с легкими и тяжелыми ограждающими конструкциями при пролете зданий 18...42 м при строительстве во всех климатических районах. К недостаткам таких ферм относят металло- и трудоемкость, связанные с большим количеством элементов фермы.

АНАЛИЗ СИТУАЦИИ

Строго говоря, любая ферма с точки зрения конструктора – это многократно статически неопределимая система. В недалеком прошлом в связи со скудными возможностями ЭВМ расчеты стропильных ферм выполнялись вруч-

ную. Для упрощения, а порой просто для возможности ручного определения внутренних усилий в стержнях фермы вводились допущения о том, что стержни в узлах ферм сопряжены шарнирно.

Фактическое конструктивное исполнение узлов фермы – сварка уголков с жесткой пластиной угловыми швами – шарниром, по сути, не является, и упомянутое выше допущение правомерно только в случае существенной гибкости самих стержней фермы. Этот факт наводит на мысль о том, что в достаточно жестких стержнях фермы возможно развитие существенных узловых изгибающих моментов.

В действующих Нормах по проектированию стальных конструкций [1] указаны конструктивные требования к фермам: «...15.2.2. При расчете плоских ферм соединения элементов в узлах ферм допускается принимать шарнирными:

- при сечениях элементов из уголков или тавров;
- при двутавровых, Н-образных и трубчатых сечениях элементов, когда отношение высоты сечения h к длине элемента l между узлами не превышает: $1/15$ – для конструкций, эксплуатируемых в районах с расчетными температурами ниже минус $45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $1/10$ – для конструкций, эксплуатируемых в остальных районах.

При превышении указанных отношений h/l следует учитывать дополнительные изгибающие моменты в элементах от жесткости узлов...».

Таким образом, указанное выше явление в Нормах не учитывается для уголкового ферм.

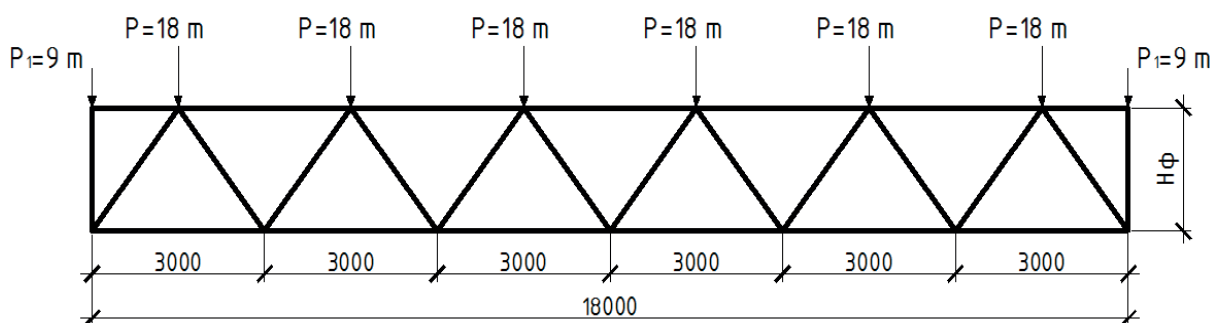


Рис.1. Геометрическая схема исследуемой фермы

В технической литературе [2-4] изложены условия возникновения и учета изгибающих моментов в стержнях ферм: внеузловое приложение нагрузки к ферме, наличие расцентровки узлов, жесткость узлов (упомянутая в Нормам выше). При этом большинство авторов дословно копируют требования п. 15.2.2 [1], которое по существу вопроса неизменно и в прежних редакциях СНиП [5-7].

Отдельные источники [3] не разделяют фермы по типу сечений и рекомендуют учитывать в необходимых случаях жесткость узлов. Однако четких указаний на этот счет нет, остается неясным, противоречит ли по каким-либо соображениям автор Нормам, либо допускает не вполне точную трактовку их требований.

Кроме того существуют конструктивные требования к высоте ферм. Обычно с учетом требований транспортировки, монтажа, оптимальной жесткости и других факторов высоту ферм принимают в пределах $1/5 - 1/9$ пролета для ферм, за исключением треугольных [2-4]. Тем самым косвенно назначается длина отдельных стержней фермы, следовательно, и их гибкость.

В своей практике авторы статьи встречали случаи, когда в элементах угловых ферм развивались изгибающие моменты, приведшие к неблагоприятным последствиям и авариям. При этом с точки зрения нормативных документов [1, 5-7], ошибок при проектировании таких ферм допущено не было. Аварии проявлялись в фермах, имеющих небольшую высоту относительно пролета. При этом установлено, что фермы не соответствовали конструктивным требованиям по соотношению высоты и пролета, приведенным в технической литературе.

В связи с этими фактами авторы задались вопросом о целесообразности введения ограничений по учету изгибающих моментов в эле-

ментах стальных ферм из парных уголков при отсутствии эксцентрики в узлах и вне узлового приложения внешней нагрузки к ферме.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим зависимость влияния изгибающих моментов в стержнях фермы от ее высоты.

Для исследований выбрана геометрическая схема фермы по рис. 1.

Ферма свободно опертая, с параллельными поясами. Пролет ферм составляет 18 м. Шаг ферм принят 6 м. Раскосная решетка имеет треугольное очертание. Ширина панели принята унифицированной 3 м (для опирания прогонов или ребристых плит). Сечения стержней приняты тавровыми из равнополочных уголков [8].

Значение расчетной сосредоточенной нагрузки на ферму составляет 18 т (1 т/м^2), что соответствует усредненной полной расчетной нагрузке на покрытие для г. Омска. Нагрузка приложена в узлы фермы к верхнему поясу. Собственным весом фермы пренебрегли. Узлы фермы центрированы. Сталь поясов и решетки принята одинаковой марки С245.

Расчеты проведены в три этапа:

1. Подбор сечений элементов фермы с использованием программного комплекса «Кристалл» (SCAD);

2. Поверочный расчет фермы вручную в предпосылке шарниров в узлах (в полном соответствии с требованиями действующих Норм);

3. Поверочный расчет фермы вручную с учетом поперечных сил и изгибающих моментов в соответствии с требованиями раздела 9 [1].

При расчетах элементов фермы как внецентрично нагруженных не учтены изгибаю-

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

щие моменты, действующие на расстоянии $0.1L_r$ от каждого узла фермы (т.е. на участках стержней фермы, расположенных в окрестности узлов). Здесь L_r – геометрическая длина каждого из рассмотренных стержней. Указанное расстояние принято авторами условно в

предположении, что моменты близ узлов фермы воспринимаются фасонками.

В расчетах варьировалась высота фермы H в пределах от 1.0 до 3.5 м (1/18..1/5 пролета фермы).

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА ВЛИЯНИЯ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ
НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ФЕРМЫ

Ферма 1, пролет 18 м, высота 3.5 м, нагрузка 1 т/м ²									
Тип элемента	Сечение	Длина L , м	Шарниры		Жесткие узлы				Разница, %
			N, т	Коеф использования	N, т	Q, т	M, т*м	Коеф использования	
ВП	125x10	3	-69.5	0.94	-69.5	0.0002	0.103	0.95	1
НП	80x10	3	69.5	1.04	69.5	0.012	0.034	1.08	4
ОР	125x10	3.81	-58.6	0.99	-58.6	0.039	0.083	0.99	0
Р	120x8	3.81	-39	0.88	-39	0.03	0.05	0.88	0
С	80x10*	3.5	-9.1	0.55	-9.1	0.023	0.041	0.58	3
Ферма 2, пролет 18 м, высота 3 м, нагрузка 1 т/м ²									
Тип элемента	Сечение	Длина L , м	Шарниры		Жесткие узлы				Разница, %
			N, т	Коеф использования	N, т	Q, т	M, т*м	Коеф использования	
ВП	140x9	3	-80.9	0.98	-80.9	0.0002	0.16	0.98	0
НП	90x10	3	80.9	1.07	80.9	0.015	0.057	1.12	5
ОР	125x9	3.35	-60.2	0.98	-60.2	0.054	0.086	0.98	0
Р	110x8	3.35	-40.1	0.96	-40.1	0.04	0.063	0.96	0
С	75x5*	3	-9.08	0.9	-9.08	0.018	0.024	0.91	1
Ферма 3, пролет 18 м, высота 2.5 м, нагрузка 1 т/м ²									
Тип элемента	Сечение	Длина L , м	Шарниры		Жесткие узлы				Разница, %
			N, т	Коеф использования	N, т	Q, т	M, т*м	Коеф использования	
ВП	150x10	3	-97.1	0.95	-97.1	0.0002	0.255	0.95	0
НП	90x12	3	97	1.08	97	0.015	0.073	1.13	5
ОР	125x9	2.92	-62.8	0.91	-62.8	0.061	0.085	0.91	0
Р	110x8	2.92	-41.8	0.91	-41.8	0.043	0.066	0.91	0
С	75x5*	2.5	-9.1	0.7	-9.1	0.026	0.023	0.72	2

Окончание таблицы 1

Ферма 4, пролет 18 м, высота 2 м, нагрузка 1 т/м²									
Тип элемента	Сечение	Длина L, м	Шарниры		Жесткие узлы				Разница, %
			N, т	Коэф использования	N, т	Q, т	M, т*м	Коэф использования	
ВП	160x11	3	-121	0.98	-121	0.00002	0.419	1	2
НП	100x14	3	121	1.04	121	0.02	0.135	1.11	7
ОР	125x8	2.50	-67.3	0.99	-67.3	0.083	0.083	0.99	0
Р	110x7	2.50	-44.7	0.81	-44.7	0.058	0.084	0.84	3
С	60x4	2	-9.08	0.86	-9.08	0.021	0.018	0.91	5
Ферма 5, пролет 18 м, высота 1.5 м, нагрузка 1 т/м²									
Тип элемента	Сечение	Длина L, м	Шарниры		Жесткие узлы				Разница, %
			N, т	Коэф использования	N, т	Q, т	M, т*м	Коэф использования	
ВП	200x12	3	-161	0.87	-161	0.001	1.2	1.01	14
НП	125x14	3	161	1.09	161	0.027	0.34	1.2	11
ОР	125x9	2.12	-76.2	0.92	-76.2	0.126	0.115	0.92	0
Р	100x7	2.12	-50.1	0.97	-50.1	0.062	0.085	1.01	4
С	50x4	1.5	-9.03	0.95	-9.03	0.024	0.015	1.03	8
Ферма 6, пролет 18 м, высота 1.0 м, нагрузка 1 т/м²									
Тип элемента	Сечение	Длина L, м	Шарниры		Жесткие узлы				Разница, %
			N, т	Коэф использования	N, т	Q, т	M, т*м	Коэф использования	
ВП	220x14	3	-238	0.97	-238	0.004	2.79	1.24	27
НП	200x13	3	238	1.06	238	0.072	2	1.31	25
ОР	140x9	1.80	-96.1	0.94	-96.1	0.153	0.17	0.94	0
Р	90x10	1.80	-63.1	0.96	-63.1	0.041	0.097	0.99	3
С	50x3	1	-9.33	0.82	-9.33	0.062	0.026	1.06	24

В таблице 1 условно обозначены наиболее нагруженные элементы фермы: ВП – верхнего пояса, НП – нижнего пояса, ОР – опорный раскос, Р – наиболее сжатый раскос решетки за исключением опорных, С – наиболее сжатая стойка.

Большие запасы в стойках обусловлены требованиями ограничения по гибкости стержней.

При ручных поверочных расчетах учтены коэффициенты условий работы γ_c по табл. 1 [1].

Выявленная разница в коэффициентах использования несущей способности элементов ферм при учете и не учете влияния изгибающих моментов представлена графически в виде коэффициентов работы фермы, понижающих предельно допустимые напряжения в соответствующих стержнях фермы (рис. 2).

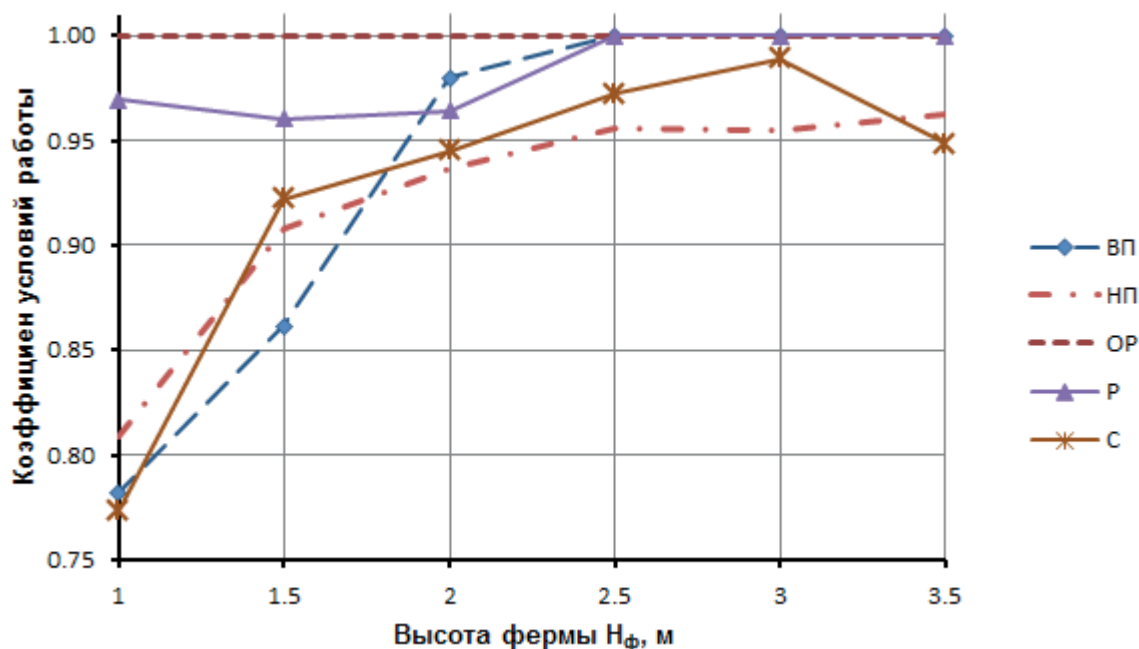


Рис. 2. Зависимость коэффициентов условий работы фермы от высоты фермы

Таблица 2
КОЭФФИЦИЕНТЫ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ФЕРМЫ γ_{ϕ}

H_{ϕ}/L	H_{ϕ} , м	Коэффициент условий работы фермы				
		ВП	НП	ОР	Р	С
1/5	3.5	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00
1/6	3	1.00	0.96	1.00	1.00	0.99
1/7	2.5	1.00	0.96	1.00	1.00	0.97
1/9	2	0.98	0.94	1.00	0.96	0.95
1/12	1.5	0.86	0.91	1.00	0.96	0.92
1/18	1	0.78	0.81	1.00	0.97	0.77

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов расчетов, позволяет сделать следующие выводы:

1. Необходимо учитывать жесткость узлов при расчетах ферм со стержнями из парных уголков при несоблюдении конструктивных требований по соотношению высоты фермы к ее пролету;
2. Существенные изгибающие моменты проявляются в рассмотренной ферме при высоте фермы 1.5 м и менее (меньше 1/10 пролета);
3. Наиболее существенное догружение изгибающие моменты оказывают на пояса фермы.
4. Величина нормальной силы в стержнях ферм при расчетах с введением и не введе-

нием шарниров в узлы существенно не меняется;

5. Допружение моментом нижнего пояса в фермах высотами 2..3.5 м на 4..7% нивелируется коэффициентом условий работы $\gamma_c = 0.9$ по табл. 1 [1] и не является критичным;

6. Допружение элементов изгибающими моментами в критичных ситуациях предлагается по аналогии учитывать коэффициентом условий работы фермы γ_{ϕ} . При этом для простоты расчетов предполагается учитывать влияние только нормальной силы, как это принято для большинства ферм, умножая расчетное сопротивление стали растяжению и сжатию на коэффициент γ_{ϕ} .

Например, коэффициент условий работы фермы для верхнего пояса определяется выражением:

$$\gamma_{\phi} = \begin{cases} 1, \text{ при } H_{\phi} / L \geq 1/7; \\ 0.04 \cdot (H_{\phi} / L) + 0.9, \text{ при } 1/7 < H_{\phi} / L \leq 1/9; \\ 0.1583 \cdot (H_{\phi} / L) + 0.624, \text{ при } 1/9 < H_{\phi} / L \leq 1/18. \end{cases} \quad (1)$$

Кроме того, коэффициент γ_{ϕ} возможно определять по таблице 2 линейной интерполяцией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показывали, что расчеты по определению несущей способности элементов ферм из парных уголков необходимо производить с учетом изгибающих моментов в случаях, когда не соблюдены конструктивные требования по соотношению высоты ферм и пролета ($H_{\phi} < 1/9L$). Для простоты расчетов влияние моментов предложено учитывать понижающими коэффициентами условий работы γ_{ϕ} .

В настоящей работе приведены зависимости для конкретного типа ферм. В рамках дальнейших исследований предполагается установление и корректировка требуемых значений коэффициентов условий работы в функции от типа ферм, их высоты, длины панелей, жесткости сечений стержней фермы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-

81* (с Изменением N 1). – М.: Минрегион России, 2011. – 172 с.

2. Беленя Е. И. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов. / Е. И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Ведеников - 6-е изд. - М.: Стройиздат, 1986. - 560 с.

3. Горев В.В. Металлические конструкции. Том 1. Элементы конструкций. / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В. В. Филиппов, ред. Горева В.В. - 3-е изд. - М.: Высшая школа, 2004. - 528 с.

4. Файбишенко В.К. Металлические конструкции: учебное пособие для вузов. / В.К. Файбишенко— М.: Стройиздат, 1984. – 336 с.

5. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1981. – 163 с.

6. СНиП II-B.3-72. Стальные конструкции. Нормы проектирования. / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1974. – 109 с.

7. СНиП II-B.3-62. Стальные конструкции. Нормы проектирования. / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1969. – 65 с.

8. ГОСТ 8509-93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент. - Введ.1997-01-01. - М.: Стандартиформ, 2012. – 12 с.

SOME FEATURES OF DESIGNING TRUSSED RAFTER OF DOUBLE ANGLES

O.Yu.Marakhina, D.A.Kuzmin

Annotation. The article deals with questions of the origin and influence bending moments on the bearing capacity of rods of the trusses of double angles on gusset plates. The results of the research with requirements of current codes of practice in construction are compared. Additional conditions for the emergence of complementary internal forces in trusses, besides the generally accepted ones, are determined. According to the results of a research, an engineering method for taking into account the influence of bending moments in the rods of trusses of double angles is proposed in checking calculations and designing trusses.

Keywords: bearing capacity, eccentric loading of rods of truss, trussed rafter, overall stability, structure behavior factors.

REFERENCES

1.SP 16.13330.2011. Stal'nye konstruktsii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP II-23-81* (s Izmeneniem N 1) [Steel structures. Updated

version of SNIIP II-23-81 * (with Change No. 1)]. - Moscow: Ministry of Regional Development of Russia, 2011. - 172 p.

2. Belenya E.I., Baldin V.A., Vedenikov G.S.. Metallicheskie konstruktsii. Obshhij kurs: Ucheb-

nik dlya vuzov. [Metal constructions. General course: Textbook for high schools. - 6 th ed]. - Moscow: Stroyizdat, 1986. - 560 p.

3. Gorev V.V, Uvarov B.Yu., Filippov V.V, Metallicheskie konstruksii. Tom 1. EHlementy konstruksij. [Metal structures. Volume 1. Elements of constructions.] / - 3rd ed. - Moscow: Higher School, 2004. - 528 p.

4. Faibishenko V.K. Metallicheskie konstruksii: uchebnoe posobie dlya vuzov [Metal structures: a textbook for high schools]. - Moscow: Stroyizdat, 1984. - 336 p.

5. SNIP II-23-81*. Stal'nye konstruksii [Steel structures]. / TSNIISK them. Kucherenko Gosstroy USSR. - Moscow: TSITP Gosstroy of the USSR, 1981. - 163 p.

6. SNIP II-B.3-72. Stal'nye konstruksii. Normy proektirovaniya [Steel structures. Design standards.] / Gosstroy of the USSR. - Moscow: Stroyizdat, 1974. - 109 p.

7. SNIP II-B.3-62. Stal'nye konstruksii. Normy proektirovaniya [Steel structures. Design standards.] / Gosstroy of the USSR. - Moscow: Stroyizdat, 1969. - 65 p.

8. GOST 8509-93. Ugolki stal'nye goryachekatanые ravnopolochnye. Sortiment. [Angles steel,

hot-rolled, equilateral. Assortment]. - Moscow: Standartinform, 2012. - 12 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Марахина Ольга Юрьевна (Омск, Россия) – студент ПГСб-13П1 ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: marahina.olya@mail.ru).

Marakhina Olga Yurievna (Omsk, Russian Federation) -student PGsb-13P1 Siberian state automobile and highway academy (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: marahina.olya@mail.ru).

Кузьмин Дмитрий Андреевич (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедр-ры Строительные конструкции ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644080, г.Омск, пр. Мира, 5, e-mail: dimitri_kuzmin@mail.ru).

Kuzmin Dmitry Andreevich (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical Sciences, Associate Professor of Building construction Siberian state automobile and highway academy (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: dimitri_kuzmin@mail.ru).

УДК 69.07

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХОСНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЖАТОЙ БЕТОННОЙ ПРИЗМЫ УСИЛЕННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЙМОЙ

*М.В. Мосин
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия*

Аннотация. Проведено компьютерное моделирование в программном комплексе «Лира САПР» и приведены результаты численного моделирования напряженного состояния бетонной призмы обжатой металлической обоймой. Выявлена зависимость между увеличением несущей способности призмы и параметрами конструкции металлической обоймы. Выявлены отличия и сходства напряженно-деформированного состояния сжатых бетонных элементов, обжатых при различных решениях. Предложены основы для разработки методики проектирования металлических обойм.

Ключевые слова: Усиление колонн, трехосное сжатие, эффект обоймы, металлическая обойма, компьютерное моделирование, обжатие колонн, железобетонные колонны, ЛИРА САПР.

ВВЕДЕНИЕ

В практике строительства и реконструкции объектов часто возникает необходимость уве-

личения несущей способности железобетонных колонн [1]. Известен ряд способов усиления колонн, в том числе за счет устройства различных обойм (железобетонных, стальных