

Нужный С. Н., аспирант  
Старооскольский технологический институт  
(филиал «МИСиС»)

## ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С Х-ОБРАЗНЫМИ ОПОРАМИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ МАТЕРИАЛОЁМКОСТИ

serg.nuzhniy@yandex.ru

*В статье представлены несколько вариантов новой рамной конструкции с Х-образными опорами и результаты численных исследований этих конструкций. Также для обоснования целесообразности новых конструкций была предложена оценка материалоемкости путем сравнения безразмерных коэффициентов, выражающих отношение погонного веса рамных конструкций к погонным действующим нагрузкам. Полученные результаты по материалоемкости и напряженному состоянию рамных конструкций с Х-образными опорами сравниваются с результатами численных исследований обычных рам с аналогичными характеристиками.*

**Ключевые слова:** новое конструктивное решение, легкая рамная конструкция, Х-образные опоры, численные исследования, материалоемкость.

Строительство — одна из самых материалоемких отраслей производства, потребляющая огромное количество строительных материалов и изделий. Удешевление строительных материалов, бережное отношение к ним при перевозках и хранении, а так же технически обоснованное, экономное их расходование служат одним из важных путей к дальнейшему снижению стоимости строительства.

В решении задачи повышения эффективности строительства большое значение имеет снижение массы строительных конструкций. Уменьшение массы материалов на потребительскую единицу конструкции позволяет снизить затраты по их перевозке, уменьшить мощность монтажных и транспортных средств, укрупнить строительные конструкции и в конечном счете снизить трудоемкость и стоимость строительства.

С каждым годом возрастают требования к конструкциям, несущим нагрузки. Снижение материалоемкости конструкций и одновременное обеспечение заданного ресурса и надежности стали важнейшими требованиями для новых конструктивных решений в области строительства.

Поэтому идея использования, в легких рамных конструкциях, Х-образных опор [1] является актуальной, так как она не только позволяет расширить диапазон перекрываемого пролета, разгрузить ригель, но и повысить устойчивость рамы за счет наружного подкоса.

В этой связи, целью настоящей работы является оценка напряженного состояния и определение материалоемкости новых рамных конструкций с Х-образными опорами, выявление наиболее эффективного конструктивного решения рам с Х-образными опорами и сравнение

полученных результатов с обычными П-образными рамами.

Рамные системы, в конструктивном смысле представляют собой строительные сооружения, в которых совмещаются строительные и технологические функции, что обуславливает основные особенности их расчета и проектирования.

Рамные конструкции с Х-образными опорами могут иметь различные конструктивные решения (рисунок 1а-е), но расчетную модель рамно-балочной конструкции с такими опорами можно представить в виде балок на упругоподатливых опорах. Такая расчетная модель позволяет адекватно действительному напряженно-деформированному состоянию оценивать несущую способность и деформативность рамно-балочных конструкций с Х-образными опорами. Для всех исследуемых конструктивных решений расчетных систем рамных конструкций с Х-образными опорами, их напряженно-деформированное состояние определялось по методике расчета предложенной автором в [2].

Аналитические исследования несущей способности и деформативности рамных конструкций с Х-образными опорами, представленными на рисунке 1(а-е), выполнялись по следующим параметрам: пролет  $l = 9, 12, 15$  и  $18$  м, высота рамы  $h = 7,2$  м, удельный вес стали  $\gamma = 7,85 \times 10^4$  Н/м<sup>3</sup>, расчетная снеговая нагрузка для III-го снегового района (г. Старый Оскол) при шаге колонн  $6$  м  $q = 10800$  Н/м, модуль упругости стали  $E = 2,1 \times 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>. Для демонстрации эффекта применения Х-образных опор сравним их с обычными П-образными рамами с аналогичными параметрами (рисунок 1 ж-з).

Результаты аналитических исследований (эпюры изгибающих моментов) для рамных

конструкций с Х-образными опорами пролётом 9 м (эпюры для пролётов 12, 15 и 18 м не показаны, чтобы не загромождать статью) показаны на рисунках 2 и 3. Максимальные изгибающие

моменты в ригеле от снеговой нагрузки для всех видов конструкций представлены в таблице 1.

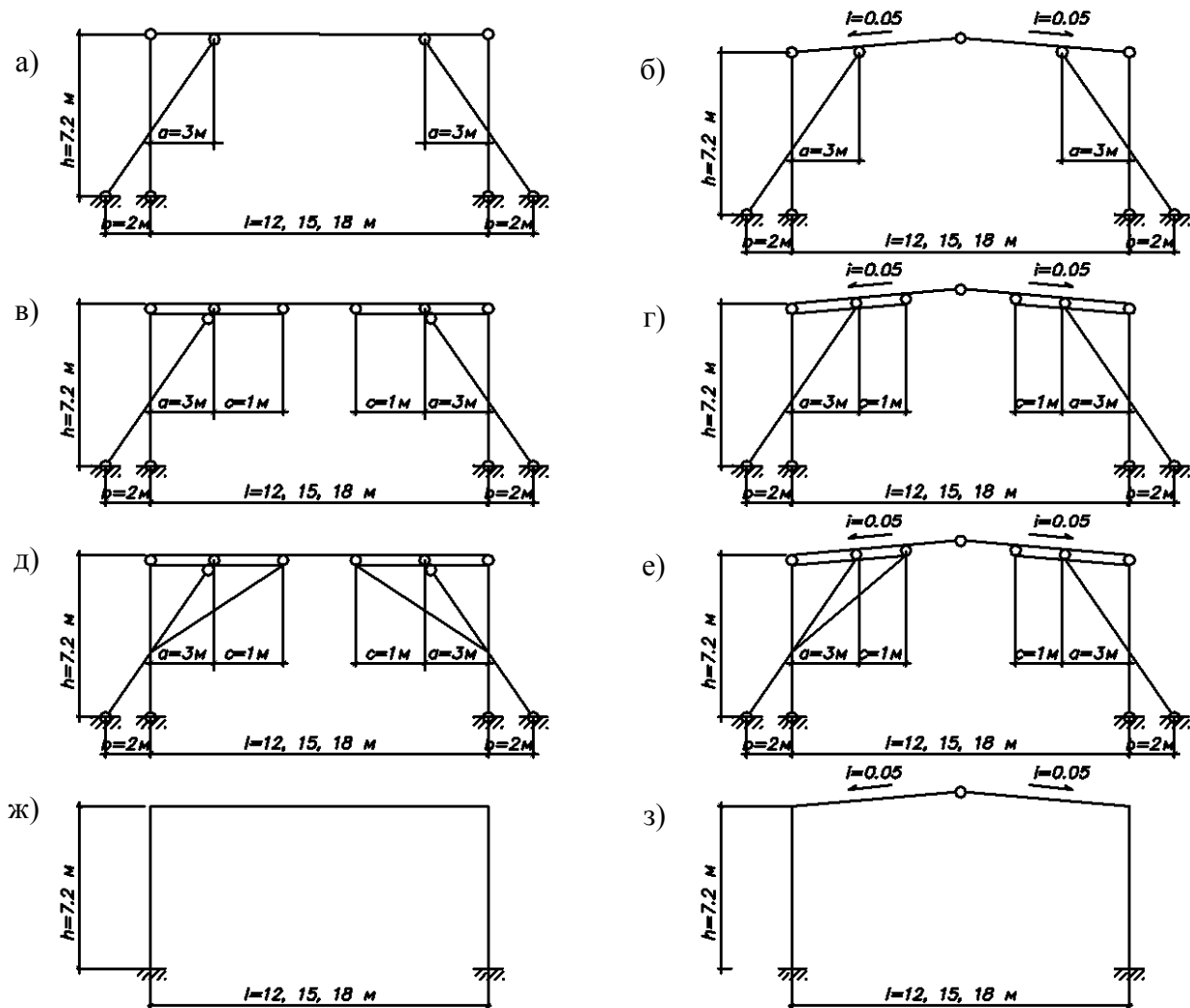


Рис. 1. Исследуемые рамные конструкции, где:

- а) рамная конструкция с Х-образными опорами; б) рамная конструкция с Х-образными опорами с шарниром в середине пролёта; в) рамная конструкция с Х-образными опорами усиленная консольными балочными элементами; г) рамная конструкция с Х-образными опорами усиленная консольными балочными элементами и шарниром в середине пролёта; д) рамная конструкция с Х-образными опорами усиленная консольными балочными элементами с дополнительными внутренними подкосами; е) рамная конструкция с Х-образными опорами усиленная консольными балочными элементами с дополнительными внутренними подкосами и шарниром в середине пролёта; ж) П-образная рамная конструкция; з) П-образная рамная конструкция с шарниром в середине пролёта

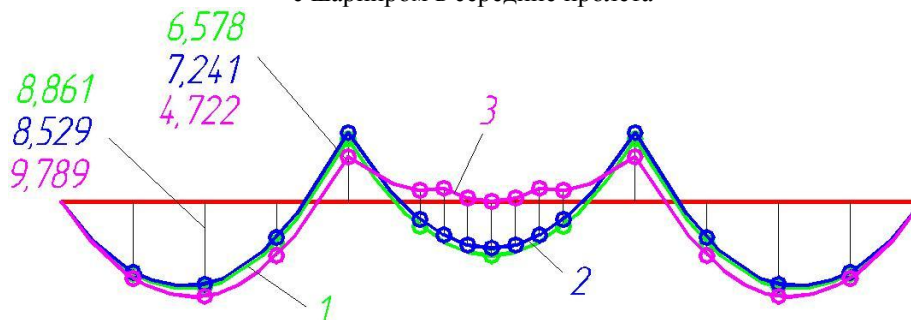


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов (кН\*м) от снеговой нагрузки рамной конструкции с Х-образными опорами, при пролёте 9 м, в исполнении:

- 1 – обычное исполнение; 2 - усиленная консольными балочными элементами; 3 - усиленная консольными балочными элементами с дополнительными внутренними подкосами

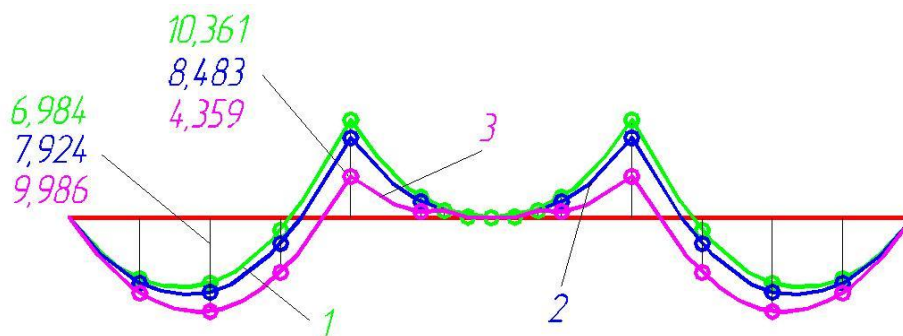


Рис. 3. Эпюры изгибающих моментов (кН\*м) от снеговой нагрузки рамной конструкции с Х-образными опорами с шарниром в середине пролёта, при пролёте 9 м, в исполнении: 1 – обычное исполнение; 2 - усиленная консольными балочными элементами; 3 - усиленная консольными балочными элементами с дополнительными внутренними подкосами

Таблица 1

**Напряженное состояние исследуемых конструкций**

Вид расчётной схемы	Максимальный изгибающий момент в ригеле, М (кН*м)			
	l=9 м	l=12 м	l=15 м	l=18 м
Рис. 1-а	8,861	24,642	58,056	108,536
Рис. 1-б	10,361	42,349	94,621	167,104
Рис. 1-в	8,529	19,406	41,304	71,084
Рис. 1-г	8,483	22,429	54,606	112,232
Рис. 1-д	9,789	12,691	33,872	75,312
Рис. 1-е	9,986	17,421	54,609	112,239
Рис. 1-ж	69,463	114,44	168,466	231,199
Рис. 1-з	104,512	182,937	281,295	399,365

Из таблицы 1 видно, что применение Х-образных опор для рам пролётом 9 м понижает максимальный изгибающий момент в ригеле в 7-12 раз по сравнению с обычными П-образными рамами; для пролёта 12 м в 4-10 раз; для пролёта 15 м в 3-5 раз; для пролёта 18 м в 2-3,5 раза. То есть наибольший эффект применения Х-образных опор достигается в рамках малых пролётов.

Для обоснования целесообразности новых конструкций проведём оценку материалоемкости путем сравнения безразмерных коэффициентов, выражающих отношение погонного веса рамных конструкций к погонным действующим нагрузкам.

Погонный вес всей рамной конструкции равен:

$$G = \sum \frac{G_{ii}}{l}, \tag{1}$$

где  $l$  – пролёт рамы,  $G_{ii}$  - погонный вес каждого элемента конструкции:

$$G_{ii} = V_{ii} \gamma, \tag{2}$$

где  $\gamma$  - плотность металла,  $V_{ii}$  - объем каждого элемента конструкции:

$$V_{ii} = A_{ii} l_{ii}, \tag{3}$$

где  $A_{ii}$  - площадь поперечного сечения каждого элемента,  $l_{ii}$  - длина каждого элемента.

Подбор сечений ригеля, стоек и подкосов выполним по результатам расчёта для описан-

ных выше рамных конструкций. Для возможности сопоставления результатов подбора сечений для различных видов конструкций подбор сечений ригеля будем выполнять из двутавра, стоек из коробки из двух швеллеров, подкосов из двух уголков.

Погонный вес поддерживающих элементов рамы будем рассматривать в относительных единицах, действующих на них нагрузок (отношение погонного веса поддерживающих элементов к погонным действующим нагрузкам). В результате этого получим безразмерный коэффициент материалоемкости поддерживающих элементов  $K$ :

$$K = \frac{G}{q_0}. \tag{4}$$

Полученные результаты коэффициента материалоемкости запишем в таблицу 2. В результате этого можно выяснить наиболее экономически выгодную конструкцию по материалоемкости.

Для наглядности данные таблицы 2 представим в виде графика зависимости пролёта от материалоемкости, изображенного на рисунке 4. Прочерки в таблице 2 означают, что для данного вида конструкции сечение ригеля в действующем сортаменте подобрать не удалось.

Таблица 2

## Материалоёмкость исследуемых конструкций

Вид расчётной схемы (номер на графике)	Коэффициент материалоёмкости, $K$ , при пролёте $l$			
	$l=9$ м	$l=12$ м	$l=15$ м	$l=18$ м
Рис. 1-а (1)	0,0743	0,0989	0,1447	0,2211
Рис. 1-б (4)	0,0755	0,1290	0,2052	0,4197
Рис. 1-в (2)	0,1226	0,1457	0,1848	0,2276
Рис. 1-г (5)	0,1487	0,1654	0,2348	0,3127
Рис. 1-д (3)	0,1257	0,1291	0,1415	0,2023
Рис. 1-е (6)	0,1349	0,1426	0,1952	0,2617
Рис. 1-ж (7)	0,1898	0,2669	0,5130	-
Рис. 1-з (нет на граф.)	-	-	-	-

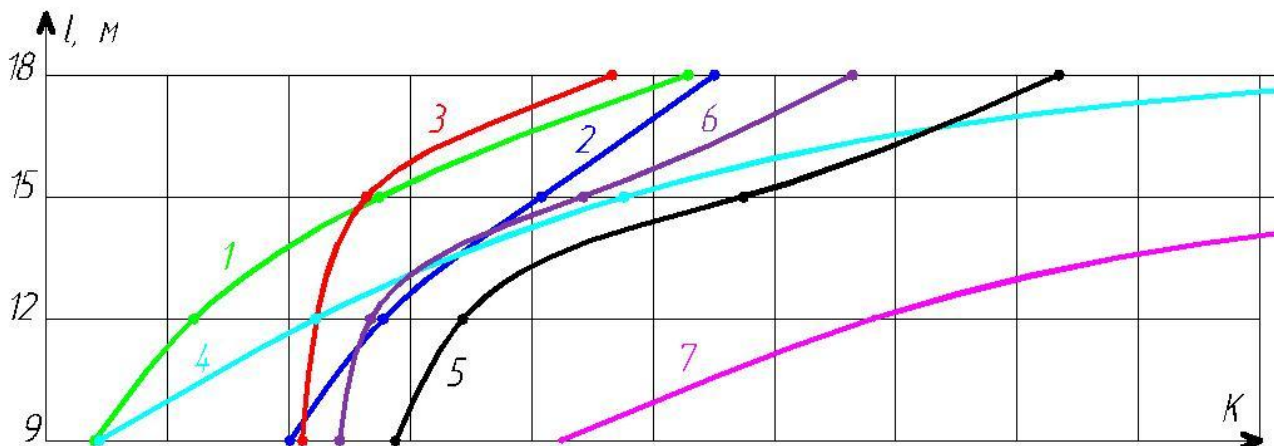


Рис. 4. Материалоёмкость поддерживающих элементов в рамных конструкциях (номер графика на рисунке соответствует номеру конструкции рамы в таблице 2)

Как видно, из таблицы 2 и рисунка 4 наиболее эффективными, с точки зрения материалоёмкости, на малых пролётах (9 и 12 м) являются рамы №1, 3 и 4; на средних пролётах (15 и 18 м) рамы №1, 2 и 3.

Результаты проведённых исследований подтвердили эффективность применения рамных конструкций с X-образными опорами. Выявлены закономерности материалоёмкости рамных конструкций с X-образными опорами, в зависимости от конструктивной схемы.

Проведенные численные исследования материалоёмкости рамных конструкций с X-образными опорами показали, что среди предложенных конструкций самыми рациональными являются конструкции изображенные на рисунках 1а и 1д. Материалоёмкость этих конструк-

ций в 1,5 – 3,5 раз меньше (в зависимости от пролёта), чем у обычной П-образной рамы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент на полезную модель № 92038. Шарнирная рамная конструкция с X-образными опорами. // Нужный С.Н., Лунев Л.А. – 2009131877/22; заявл. от 25.08.2009; опубл. 10.03.2010.
2. Нужный, С.Н. Шарнирная рамная конструкция с X-образными опорами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2012. №4. С. 74–75.