

УДК 624.078

Хайдаров Л.И. – аспирант

E-mail: haidarov_lenar@mail.ru

Шмелев Г.Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: gn.shmelev@mail.ru

Зиятдинов Э.К. – студент

E-mail: ziyatdinov-imil@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Построение расчетных схем мобильных пространственных стержневых конструкций, моделирующих их действительную работу

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлось определение основных факторов, влияющих на работу мобильных пространственных стержневых конструкций.

Результаты. Изучено влияние схем закрепления элементов в узловых соединениях и грунтового основания на работу пространственных мобильных стержневых конструкций.

Выводы. По результатам исследования определено, что податливость узлового соединения и жесткость основания являются одними из важных факторов, влияющих на работу пространственных стержневых конструкций, поэтому при составлении расчетных схем следует задавать фактические характеристики узлового соединения и основания.

Ключевые слова: мобильные пространственные стержневые сооружения, расчетная модель, податливость узлового соединения.

Мобильные пространственные стержневые конструкции получили широкое распространение при возведении временных зданий и сооружений, таких как трибуны, навесы, павильоны и т.д. Одной из самых применяемых систем являются стержневые конструкции Layher с клиновым узлом. Преимуществами системы являются многофункциональность, быстрый монтаж и демонтаж. Система является модульной и состоит из следующих основных элементов: винтовых домкратов, стоек, ригелей, диагоналей и настила. Стойки, ригели и диагонали выполнены из трубы диаметром 48,3 мм и толщиной стенки 3,2 мм. Диагональные элементы и ригели оборудованы клиновым замком. На стойках с шагом 0,5 м установлены фланцы с 8 отверстиями. Соединение осуществляется за счет забивки клина. Элементы выполняются в стальном и алюминиевом исполнении.

Производитель в каталоге системы предоставляет перечень элементов и указывает предельные усилия в стержневых элементах и в самом узле.

Для определения усилий, возникающих при эксплуатации сооружения, на стадии проектирования при составлении расчетной схемы особое внимание следует уделить податливости узлового соединения и вида основания.

Влияние податливости узлового соединения стержней на работу системы

Для исследования влияния податливости узлового соединения на работу системы рассмотрены 3 варианта закрепления ригелей к стойке: шарнирное, упруго-податливое и жесткое соединение. График работы упруго-податливого соединения системы «Layher Allround» представлен на рис. 1.

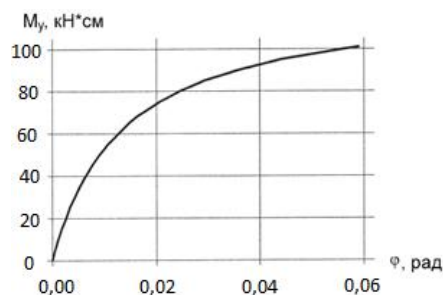


Рис. 1. График работы соединения ригель-стойка системы «Layher Allround»

Расчетная модель представляет собой стержневую конструкцию из модульных ячеек с размерами $2,07\text{м}(b) \times 2,57\text{м}(l) \times 1,5\text{м}(h)$. Расчеты выполнены на фрагментах высотой в одну ячейку и 5 ячеек (рис. 2). Для определения характера перераспределения усилий в элементах исключена центральная в плане опора.

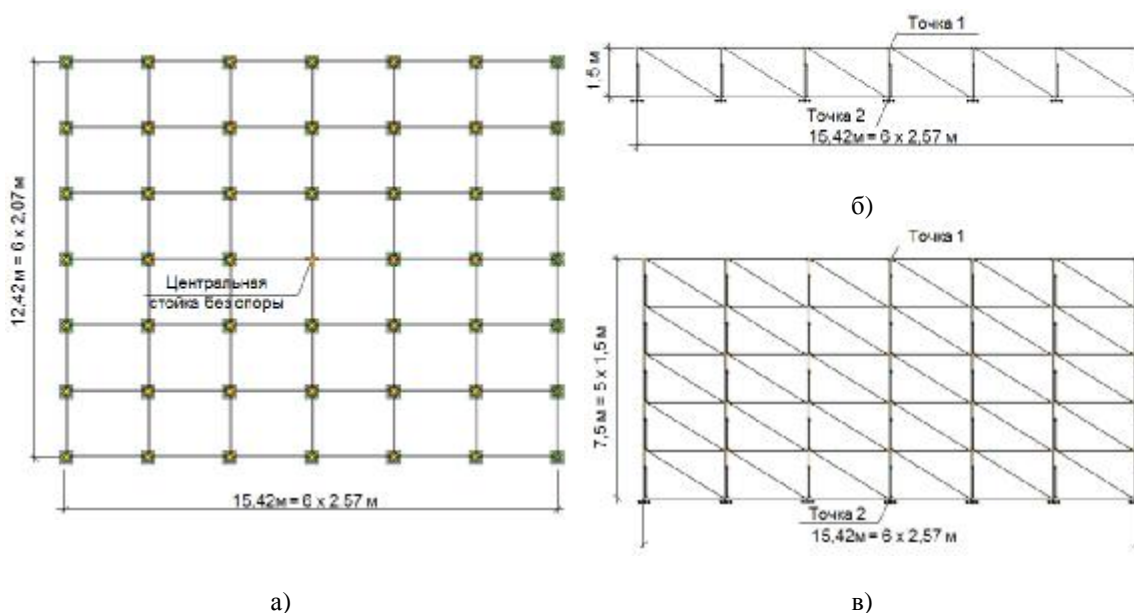


Рис. 2. Схемы для исследования влияния податливости соединения:
 а – вид в плане; б – поперечный разрез схемы 1; в – поперечный разрез схемы 2

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы (табл. 1):

- 1) В расчетной схеме с шарнирным узловым соединением перераспределение усилий происходит только в первой соседней ячейке, тогда как при упруго-податливом и жестком соединениях задействованы соседние две ячейки.
- 2) В схеме с шарнирным соединением ригелей максимальные усилия в диагональных элементах меньше чем с упруго-податливым соединением на 26 % в схеме 1, на 52 % в схеме 2; в жесткой схеме больше на 16 % в схеме 1, на 58 % в схеме 2.
- 3) В шарнирной схеме перераспределение усилий в диагональных элементах происходит более равномерно по высоте, тогда как в жесткой схеме большая часть усилий воспринимается диагональными элементами непосредственно у исключаемой опоры.
- 4) В ригелях с шарнирным соединением стержней изгибающий момент в узле отсутствуют. В схемах с жестким соединением изгибающий момент в узле по сравнению со схемой с упруго-податливым соединением больше на 128 % в схеме 1, на 85 % в схеме 2.

Таблица 1

Результаты расчета фрагментов с разной податливостью узла соединения

Узловое соединение	Наибольшее изменение усилий в соседних элементах				Передача усилий на соседние опоры, %		Перемещения в рассматриваемой стойке, мм			
	диагональ, кН		ригель, кН×см				точка 1		точка 2	
	1 сх.	2 сх.	1 сх.	2 сх.	1 сх.	2 сх.	1 сх.	2 сх.	1 сх.	2 сх.
Шарнирное	8,9	1,6	0	0	53,7	41,2	29,5	8,2	29,4	1,5
Упруго-податливое соединение «Layher»	12,0	3,3	56,6	12,8	42,5	31,2	14,3	3,9	14,2	0,1
Жесткое	13,9	5,2	129,1	23,7	36,8	31	9,5	3,6	9,5	0,1

Согласно результатам можно заключить, что схемы с шарнирным соединением ригеля со стойкой по сравнению с упруго-податливым соединением приводит к

занижению усилий в элементах и завышению перемещений, а с жестким соединением – к завышению усилий и занижению перемещений. Таким образом, упрощение модели узла приводит к некорректным результатам.

Влияние грунтового основания на работу системы

Мобильные пространственные стержневые конструкции могут устанавливаться на различное основание. При действующей нагрузке происходит совместное деформирование сооружения и основания, что приводит к перераспределению усилий в стержнях системы.

Исследование влияния основания было выполнено на примере трибуны с навесом, использованной во время XVI чемпионата мира по водным видам спорта в Казани.

Описание сооружения

Сооружение состоит из навеса и трибуны из модульных строительных лесов Layher (рис. 3). По внешнему периметру установлено тентовое полотно.

На сооружение действуют собственный вес конструкций, полезная нагрузка от зрителей, ветровая нагрузка от навеса и задней стенки.

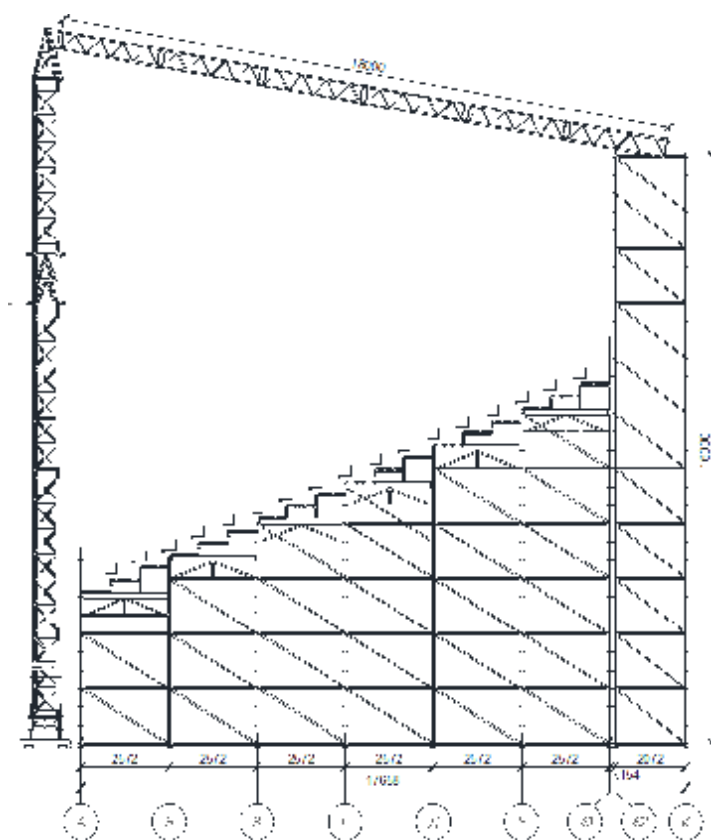


Рис. 3. Поперечный разрез сооружения

Домкраты установлены на опорные плиты с размерами 500x500 мм, выполняемых из ряда брусков стороной 10 см, объединённых с двух сторон фанерными листами.

Расчетная модель

Расчеты выполнены на трехмерной модели сооружения. Поперечное сечение схемы представлено на рис. 3. Стойки и ригели выполнены из круглых труб диаметром 48,3 мм. Соединение ригеля со стойкой выполнено упруго-податливым, работа которого соответствует рис. 2. Погонная жесткость диагональных элементов 13 кН/см. Эксцентриситет при узловом соединении учтен жесткими вставками.

В расчете рассмотрены жесткое и пять видов упругого основания. В расчетной схеме с жестким основанием выполнено ограничение перемещений низа стоек по вертикали. Характеристики грунтов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики грунтов основания

№	Наименование грунта	Модуль деформации, кН/см ²	Коэффициент Пуассона
1	Насыпной	0,980665	0,3
2	Песок пылеватый	1,7652	0,3
3	Супесь	1,96133	0,3
4	Суглинок тугопластичный	1,7652	0,35
5	Глина полутвердая	2,15746	0,42

Согласно результатам расчета (табл. 3) при уменьшении жесткости основания происходит увеличение значения максимального усилия сжатия в диагональных элементах от -0,8 кН до -6,9 кН и изгибающего момента в ригелях в местах соединения со стойкой – от 23,9 кН×см до 33,3 кН×см. При этом важно отметить, что увеличиваются и вертикальные (с 0 см до 5,1 см), и горизонтальные перемещения (с 8 см до 16,9 см).

Таблица 3

Результаты расчета

Основание	Усилия растяжения/сжатия в диагональных элементах	Изгибающий момент в ригеле	Максимальное вертикальное перемещение (рис. 4)	Максимальное горизонтальное перемещение (рис. 4)
	$-11,9\text{кН} \leq N_{\text{max}} \leq +17,9\text{кН}$	$M_y \leq 101\text{кНхсм}$	$Z_{\text{max}} \leq 7,1\text{см}$	$X_{\text{max}} \leq 21\text{см}$
Насыпной	+9,2/-6,9	33,3	5,1	16,9
Песок пылеватый	+9,0/-5,5	32,9	2,9	14,7
Супесь	+9,0/-5,2	32,8	2,8	14,3
Суглинок тугопластичный	+9,0/-5,3	32,8	2,8	14,4
Глина полутвердая	+9,1/-2,5	31,9	0,7	11,4
Жесткое основание	+9,1/-0,8	23,9	0	8,0

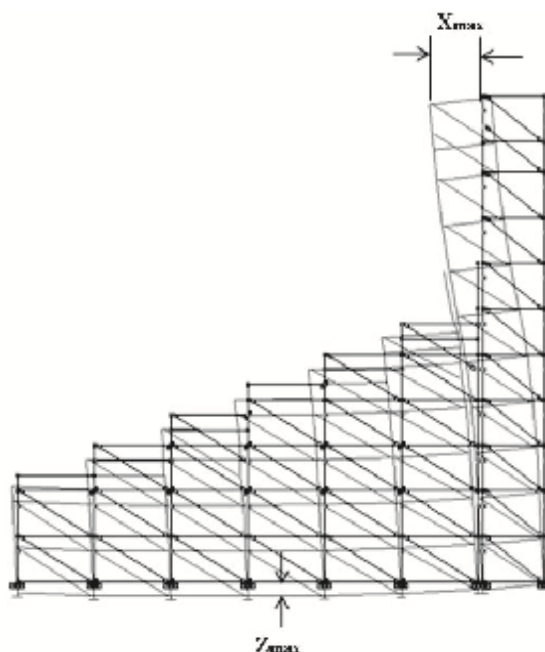


Рис. 4. Деформированная схема трибуны (конструкция навеса условно не показаны)

Исследование пространственной работы системы

Неравномерная жесткость основания, размыв грунта или сдвиг опорных плит под стойками могут привести к разности осадок соседних стоек, что в свою очередь является причиной перераспределения усилий в стержнях системы с упруго-податливым соединением ригеля к стойке. В связи с этим выполнен ряд численных экспериментов, учитывающих случаи отсутствия опорной реакции под одной из стоек системы.

По результатам расчетов определены изменения усилий в стержнях элементов системы по отношению к первоначальной схеме (табл. 4). Перераспределение усилий в поперечном направлении происходит в соседних двух ячейках в каждую сторону, в продольном направлении – в одной. В более удаленных ячейках изменения усилий не превышают 5 %.

Таблица 4

Перераспределение усилий в стержнях системы при отсутствии опорной реакции в одной из опор

Исключаемая стойка по оси	Изменение усилий в соседних элементах * /коэффициент использования сечения, %				Передача усилий на первые соседние опоры, %	Перемещение в рассматриваемой стойке относительно соседних, мм	
	Поперечная рама		Продольная рама			нижняя точка	верхняя точка
	диагональ	ригель	диагональ	ригель			
«А»	57/14	27/12	37/37	21/22	77	20	20
«Б»	41/81	21/38	25/25	19/15	74	13	12
«В»	28/62	18/53	27/27	15/21	61	9	8
«Г»	29/58	18/55	17/18	10/11	56	8	6
«Д»	27/64	15/59	14/15	13/10	53	8	4
«Е»	25/44	10/52	14/15	7/7	41	6	3

* – изменение усилий в стержнях указаны в процентах от несущей способности элементов: для диагональных элементов усилия сжатия/растяжения, для ригелей моменты в узле соединения.

Наибольшие изменения усилий происходят в диагональных элементах. В поперечной раме в первых соседних ячейках усилия увеличиваются до 57 %, во второй соседней – не более 10 %. Изменения усилий в ригелях происходит только в первых соседних ячейках и не превышают 27 %.

В случае больших деформаций основания под одной стойкой или сдвига опорных плит несущая способность элементов и системы в целом обеспечивается. Перемещения в верхней части трибун не превышают предельных значений согласно табл. Е.1 СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».

Продолжается исследование влияния локальной деформации грунта под группой опор.

Выводы

1) Схема с шарнирным соединением ригеля со стойкой по сравнению с упруго-податливым соединением приводит к занижению усилий в элементах и завышению перемещений, а с жестким соединением – к завышению усилий и занижению перемещений;

2) При уменьшении жесткости основания происходит увеличение значения максимального усилия сжатия в диагональных элементах от -0,8кН до -6,9кН и изгибающего момента в ригелях в местах соединения со стойкой – от 23,9кН×см до 33,3кН×см; увеличиваются вертикальные и горизонтальные перемещения;

3) При отсутствии опорной реакции под одной из стоек перераспределение усилий в поперечном направлении происходит в соседних двух ячейках, в продольном направлении – в одной.

По результатам выполненных расчетов определено, что податливость узлового соединения и жесткость основания являются одними из важных факторов, влияющих на работу пространственных стержневых конструкций, поэтому при составлении расчетных схем следует задавать фактические характеристики узлового соединения и основания.

Список библиографических ссылок

1. Ананьин М. Ю., Фомин Н. И. Метод учета податливости в узлах металлических конструкций зданий // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. 2010. № 2. С. 72–74.
2. Муцанов А. В., Муцанов В. Ф., Роменский И. В. Влияние податливости опор на напряженно-деформированное состояние элементов структурного покрытия // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. С. 7–19.
3. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М. : СКАД СОФТ, 2011. 736 с.
4. Турищев Л. С. К расчету плоских стержневых конструкций с учетом разномодульности материала // Промышленность. Прикладные науки. Машиностроение, технологии. № 11. 2011. С. 43–47.
5. Кудишин Ю. И., Михалев Н. Я. О живучести несущих конструкций покрытия ледового дворца спорта на Ходынском поле в г. Москва // Металлические конструкции. 2007. № 3 (13). С. 131–141.
6. Назаров Ю. П., Симбиркин В. Н., Городецкий А. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла конструкций // Актуальные проблемы исследований по теории сооружений. 2009. № 2. С. 204–216.
7. Ружанский И. Л. Развитие конструктивных форм пространственных и легких конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 5. С. 12–15.
8. Коваль З. Формирование пространственных стержневых конструкций по теории надежности // Archives of civil and mechanical engineering. 2011. Vol. XI. № 1. С. 115–133.
9. Маденси И., Гувен И. Метод конечных элементов и применение в технике ANSYS // Springer Science–Business Media, LLC, 2006. 686 с.
10. Антониуа Н., Николаидисб З., Баниотопулоза С.С. Проектирование большепролетных стальных балок путем применения концепций управления перемещением // Engineering Structures Volume 59, February 2014, С. 21–27.
11. Хеллер Р.А. Строительная механика // Encyclopedia of Physical Science and Technology (third edition). 2003. С. 259–278.

Khaidarov L.I. – candidate of technical sciences

E-mail: haidarov_lenar@mail.ru

Shmelev G.N. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: gn.shmelev@mail.ru

Ziyatdinov E.K. – student

E-mail: ziyatdinov-imil@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Construction of computational schemes
of mobile spatial rod structures modeling their actual work****Abstract**

Problem statement. The aim of the work is to determine the main factors affecting the operation of mobile spaces of rod structures.

Results. The influence of schemes of fastening elements in nodal connections and ground base on the work of spatial mobile rod structures is studied.

Conclusions. According to the results of the study, it is determined that the compliance of the junction and the rigidity of the base are one of the important factors affecting the operation of the spatial core structures, therefore, when designing the calculation schemes, the actual characteristics of the junction joint and the base should be specified.

Keywords: mobile spatial rod structures, computational model, connection stiffness.

References

1. Ananyin M. Yu., Fomin N. I. Method of accounting for compliance in the nodes of metal structures of buildings // *Akademicheskij vestnik URALNIIPROEKT RAASN*. P. 72–74.
2. Mushchanov A. V., Mushchanov V. F., Romensky I. V. The impact of support on the compliance of the stress-strain state of structural elements covering // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016. № 1 (40). P. 7–19.
3. Perelmuter A. V., Slivker V. I. Calculation models of structures and the possibility of their analysis. M. : SCAD SOFT, 2011. 736 p.
4. Turischev L. S. To the calculation of flat bar structures with regard to the different-modularity of the material // *Promishlennost. prikladnie nauki. mashinostroenie tehnologii*. № 11. 2011. P. 43–47.
5. Kudishin Yu. I., Mikhalev N. Ya. About the survivability of load-bearing structures covering the ice palace of sports in the Khodynka field in Moscow // *Metallicheskie konstrukcii*. 2007. № 3 (13). P. 131–141.
6. Nazarov Yu. P., Simbirkin V. N., Gorodetsky A.S. Computer modeling of the life cycle of structures // *Aktualnie problemi issledovaniy po teorii sooruzhenii*. 2009. № 2. P. 204–216.
7. Ruzhansky I. L. Development of constructive forms of spatial and light structures // *Promishlennoe i grajdanskoe stroitelstvo*. 2010. № 5. P. 12–15.
8. Kowal Z. The formation of space bar structures supported by the system reliability theory // *Archives of civil and mechanical engineering*. 2011. Vol. XI. № 1. P. 115–133.
9. Madenci E., Guven I. The finite element method and applications in engineering using ANSYS, by Springer Science–Business Media, LLC, 2006. 686 p.
10. Antonioua N., Nikolaidis Th., Baniotopoulou C.C. Designing long-span steel girders by applying displacement control concepts // *Engineering Structures*. Vol. 59, February 2014. P. 21–27.
11. Heller R. A. Mechanics of Structures // *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (third edition). 2003. P. 259–278.