

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2020, №1, Том 7 / 2020, No 1, Vol 7 <https://t-s.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/14SATS120.pdf>

DOI: 10.15862/14SATS120 (<http://dx.doi.org/10.15862/14SATS120>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Валиев Ш.Н., Маунг Маунг Вин Аунг, Овчинников И.И. Сравнительный анализ поведения железобетонных пилонов различной формы при статическом анализе вантовых мостов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2020 №1, <https://t-s.today/PDF/14SATS120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/14SATS120

For citation:

Valiev Sh.N., Maung Maung Win Aung, Ovchinnikov I.I. (2020). The behavior of reinforced concrete pylons in the static analysis of cable-stayed bridges. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(7). Available at: <https://t-s.today/PDF/14SATS120.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/14SATS120

УДК 624.04

Валиев Шерали Назаралиевич

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: vshn2014@gmail.com

Маунг Маунг Вин Аунг

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия
Соискатель
E-mail: mngmgwinag@gmail.com

Овчинников Илья Игоревич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: bridgear@mail.ru

**Сравнительный анализ поведения
железобетонных пилонов различной формы
при статическом анализе вантовых мостов**

Аннотация. Вантовые мосты относятся к современным эффективным типам мостов, перекрывающих довольно большие пролеты, имеющих выразительный эстетический облик и широко применяемых в последнее время. Пилоны вантовых мостов изготавливаются из металла и железобетона и имеют разнообразную форму. В статье приводятся результаты сравнительного исследования эффективности различных типов железобетонных пилонов на примере трехпролетного вантового моста с использованием программного комплекса Midas/Civil. Рассмотрены пилоны А, Н, П образного типа, ромбовидного, малого ромбовидного типа, а также в форме перевернутой буквы У. Высота всех типов пилонов одинаковое, расположение вант – веерное, количество вант везде одинаковое. Проводился статический расчет вантового моста с различными типами пилонов на действие статической нагрузки в виде собственного веса. В процессе анализа определялись изгибающие моменты, продольные усилия и перерезывающие силы, а также напряжения в элементах пилонов, горизонтальное смещение верха пилонов, изгибающий момент и максимальный прогиб балки жесткости.

Проведено сравнение усилий и перемещения для пилонов различного типа, позволяющее оценить эффективность применения того или иного типа пилонов. Результаты проведенного исследования будут полезны при выборе типа пилонов для проектируемого вантового моста с учетом конкретных условий проектирования.

Ключевые слова: вантовые мосты; пилоны; типы пилонов; железобетонные пилоны; балка жесткости; ванты; расчетная схема; расчетный анализ моста

Введение

Пилоны вантовых мостовых сооружений являются весьма важными конструктивными элементами, обеспечивающими прочность, надежность и работоспособность сооружений [1–7]. А так как пилоны обычно являются и весьма заметными компонентами мостовых сооружений, то они играют весьма большую роль в создании эстетического облика вантового мостового сооружения [8]. На первых вантовых мостах обычно использовались стальные пилоны. В настоящее же время металлические пилоны применяются в случаях, когда грунты обладают слабой несущей способностью и не в состоянии воспринимать значительные нагрузки [6]. Но, так как пилоны в основном нагружаются сжимающими нагрузками, то во многих случаях более экономичными оказываются железобетонные пилоны, которые в основном и используются в настоящее время.

Начиная с 1970-х годов проектируемые железобетонные пилоны вантовых мостов могут иметь разнообразную форму (Н-образные, П-образные, А-образные, в виде перевернутой буквы У и другие), а поперечное сечение элементов пилонки обычно бывает прямоугольным или другим, но достаточно компактным. С целью уменьшения веса и экономии бетона и арматуры при сохранении жесткости поперечное сечение элементов пилонки делается пустотелым [9].

Анализ состояния проблемы и постановка задачи

Во всем мире особенно активно вантовые мосты строились в последние десятилетия 20 века. Из-за их эстетически выразительного вида и эффективного использования в их конструкции современных материалов вантовые мосты оказались весьма популярными мостовыми сооружениями. Причем оказалось, что с увеличением длины перекрываемых пролетов вантовые мосты становились все более эффективными и активно сопротивляющимися воздействию ветровых нагрузок [10].

Типичный вантовый мост состоит из балки жесткости (пролетного строения), опирающейся на один или два пилонки и устои, а также ванты, которые прикреплены к балке жесткости под некоторым углом и подвешивают ее к пилонам. Тем самым вертикальные нагрузки от собственного веса и подвижной нагрузки передаются на пилонку через систему ванты. При этом растягивающие усилия в вантах приводят к сжатию балки жесткости. Пилоны же передают усилия от ванты на фундаменты. Причем желательно, чтобы конструкция моста была такой, чтобы статические горизонтальные усилия, возникающие от собственного веса пролетного строения, были уравновешены, что позволяет минимизировать высоту пилонки. Вантовые мосты обычно весьма эстетически выразительны. Следует также заметить, что одним из преимуществ вантовых мостов является возможность построить его с любым количеством пилонок.

Как уже отмечалось выше, пилоны вантовых мостов могут иметь различную геометрическую форму: пилонку в виде ромба, пилонку в виде перевернутой буквы У, пилонку в форме буквы Х, пилонку в форме буквы А, Л, пилонку в форме буквы Н и одиночный пилонку. Вид формы пилонки зависит от конструкции вантового моста, соотношения его параметров,

эстетических требований и взглядов проектировщика. Пилоны могут иметь и плоскую и пространственную форму, а также быть криволинейными. Примеры вантовых мостов с различными формами пилонов приведены на рисунке 1. Следует также заметить, что в последнее время при создании пилонов широко применяется железобетон, как материал, весьма эффективно сопротивляющийся действию сжимающих нагрузок. На эффективность применения железобетона для создания пилонов большое влияние также оказали современные достижения в бетонном строительстве (появление высокопрочного бетона, самоуплотняющегося бетона), а также современные конструкции опалубочных систем. В результате железобетон оказался весьма эффективным материалом при создании пилонов сложной формы.



А) Пилон в виде буквы Н. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&pos=13&img_url=https%3A%2F%2Fwww.projedefirsat.com%2Fdosyalar%2FhaberGaleri%2F10556%2Fdunyanin-en-pahali-kopruleri_fbcxcb8a11c34923a60a8673872f29b4_full.jpg&rpt=simage



Б) Пилон в виде буквы П. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&pos=15&img_url=https%3A%2F%2Fimg2.akspic.com%2Fimage%2F93438-night-sky-cable-stayed-bridge-cantilever-bridge-landmark-2560x1440.jpg&rpt=simage



В) Пилон в виде буквы Л. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&pos=27&img_url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-zen_doc%2F1780598%2Fpub_5cbc9d09ae4f3800b29a3117_5cbc9eaaaa025b00b47b6d7c%2Fscale_1200&rpt=simage



Г) Пилон в виде двухэтажной буквы А. Источник:

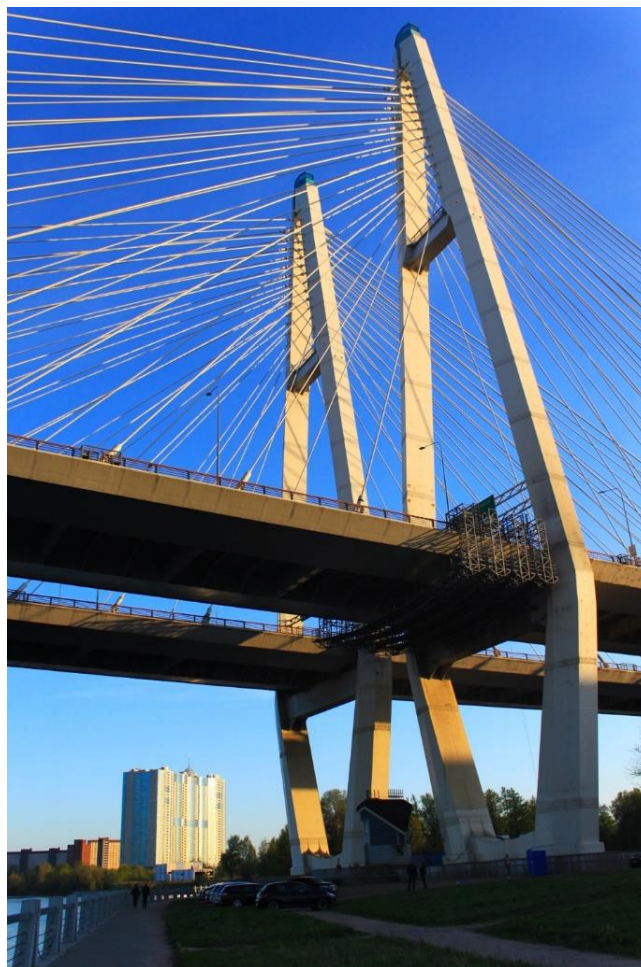
https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=1&pos=32&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Fi0.photo.2gis.com%2Fimages%2Fgeo%2F25%2F3518437220737230_5f4b.jpg



Д) Пилон криволинейной формы. Источник:
https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=1&pos=41&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Felhumanista.net%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F08%2Fcalatrava.jpg

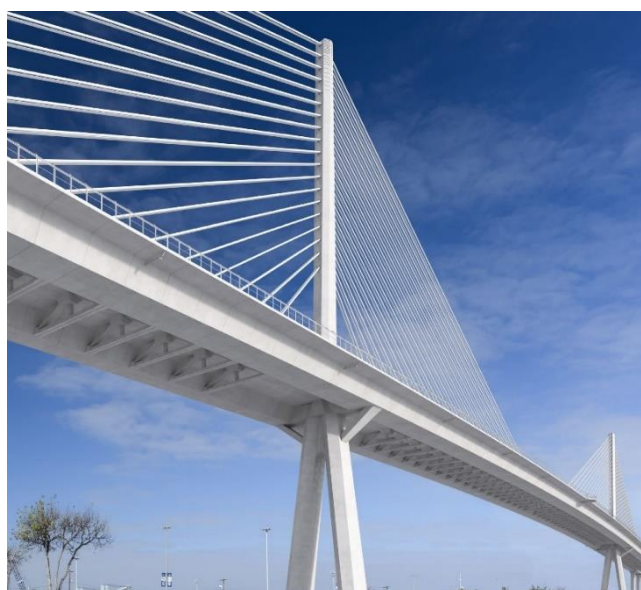


Е) Пилон в виде буквы X. Источник:
https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=1&pos=50&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Fi.pining.com%2Foriginals%2F1f%2Fc4%2Fa5%2F1fc4a5769f3e1561092962f8b08fa008.jpg



Ж) Пилон с верхней частью в виде буквы А. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=1&pos=53&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Fa.d-cd.net%2F4bd4a12s-960.jpg



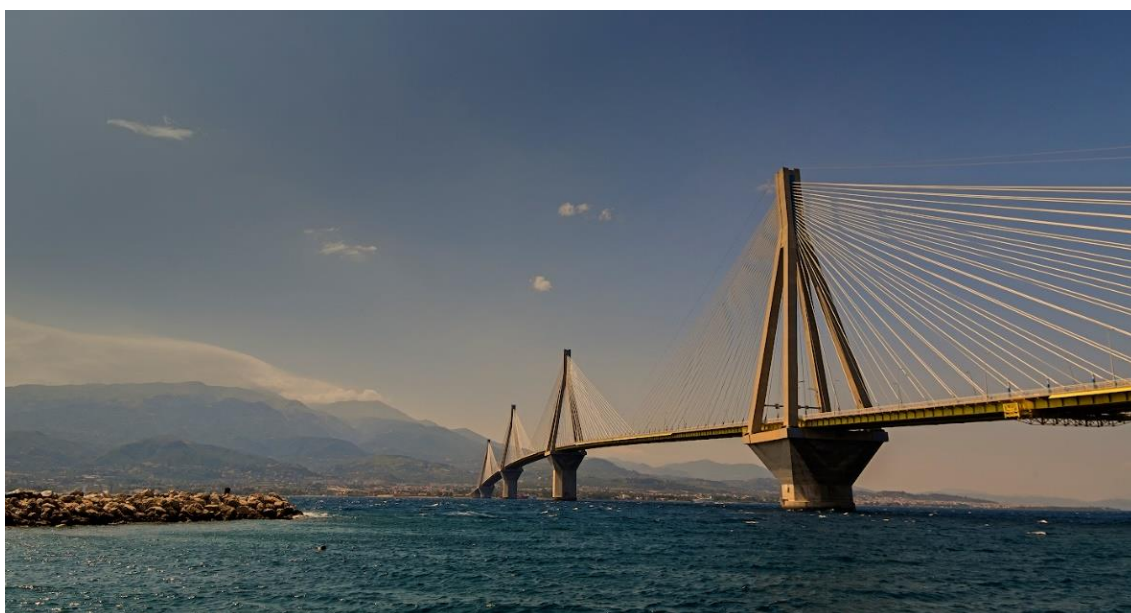
З) Пилон в виде одиночной стойки. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=2&pos=62&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Fwww.thetranstecgroup.com%2Fwordpress%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F09%2Flooking-up-at-pylon.jpg



И) Пилон в виде системы арок. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=2&pos=68&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Fedge.ixigo.com%2Ffixi-api%2Fimg%2F52aea9c9e4b05d7a6f6aed10_600x315.jpg



К) Пилон пространственной формы. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=2&pos=67&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Fphotoclub.by%2Fimages%2Fmain84%2F846982_main.jpg



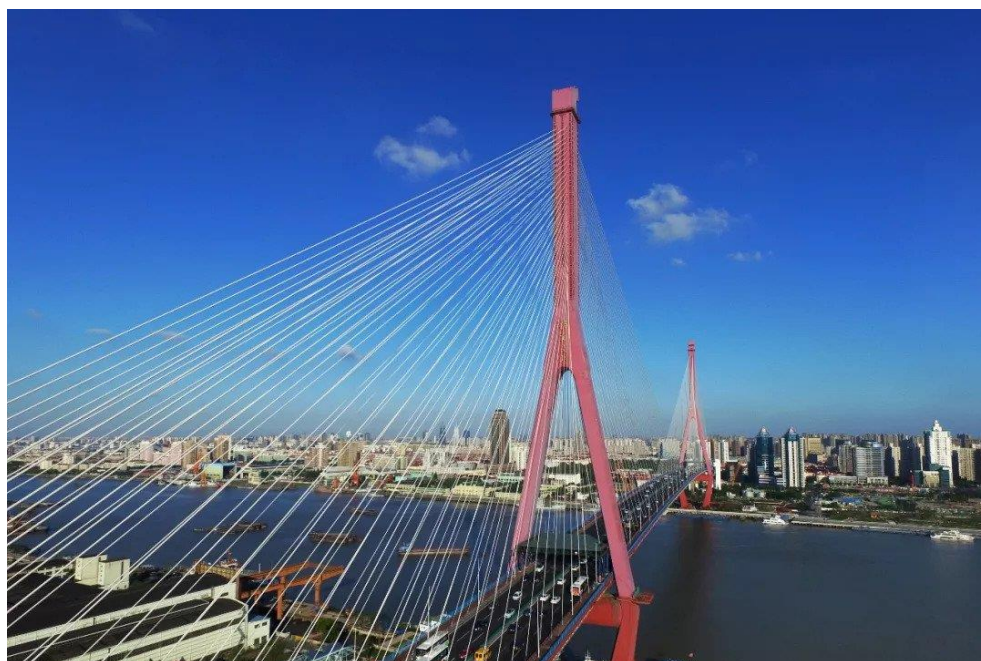
Л) Пилон в виде парных стоек. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=2&pos=71&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Fwww.tokkoro.com%2Fpicsup%2F5744251-vladivostok-wallpapers.jpg



М) Пилон в виде отдельной наклонной стойки. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=2&pos=73&rpt=simage&img_url=https%3A%2F%2Fi.pinimg.com%2Foriginals%2F07%2F0c%2F4b%2F070c4bee7a255e3d0acbd74135a340b3.jpg



Н) Пилон в виде перевернутой буквы Y. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=4&pos=139&rp_t=simage&img_url=https%3A%2F%2Fpbs.twimg.com%2Fmedia%2FEEEEmacVUAЕym_U.jpg



О) Пилоны в виде буквы Л. Источник:

https://yandex.ru/images/search?text=вантовые%20мосты%20мира&lr=194&p=5&pos=175&rp_t=simage&img_url=https%3A%2F%2Fget.pxhere.com%2Fphoto%2Fbridge-suspension-bridge-landmark-engineering-viaduct-iron-bridge-cable-stayed-bridge-arch-bridge-nonbuilding-structure-569614.jpg

Рисунок 1. Примеры вантовых мостов с различными формами пилонов

Ввиду большого разнообразия формы железобетонных пилонов представляет интерес сравнительный анализ поведения пилонов различных форм применительно к вантовому мосту определённой конструкции.

Такое исследование было проведено и представлено в работе [11]. В ней рассмотрены результаты линейного статического анализа поведения вантовых мостов с различными формами пилонов под действием собственного веса. Авторами исследовались такие формы пилонов, как А, Н, перевернутая Y, ромбовидная, пирамидальная, U-образная, шестиугольная и одиночный пилон. При этом высота всех пилонов принималась одинаковой для всех вариантов вантовых мостов. Моделирование проводилось с использованием американского программного комплекса SAP 2000, в процессе анализа определялись продольные усилия, изгибающие моменты и поперечные силы в элементах пилона, а также отклонения верха пилона.

Однако следует заметить, что для обеспечения достоверности получаемых результатов Главгосэкспертизой рекомендовано осуществлять расчеты не менее чем по двум сертифицированным, независимо разработанным и проверенным на практике программным комплексам, проводить сопоставительный анализ полученных результатов, о чем достаточно подробно и обоснованно говорилось в работах [12–14].

Например, в статье [15] проводился сравнительный анализ достаточно хорошо себя зарекомендовавших в мостовых организациях программных комплексов MIDAS/CIVIL (Южная Корея) и SOFISTIK (Германия) на примере пространственного расчета пролетного строения железнодорожного моста, состоящего из двух главных разрезных ферм с ездой понизу.

В данной работе проводился компьютерный статический анализ вантовых мостовых сооружений с пилонами различных типов с использованием программного комплекса MIDAS/CIVIL (Южная Корея).

Расчетные схемы вантовых мостовых сооружений

Исследования показывают, что усилия в вантах и количество требуемой высокопрочной стали для их изготовления уменьшается с увеличением высоты (H) пилона по сравнению с длиной (L) балки жесткости. Достаточно хорошим соотношением между высотой пилона (H) и длиной балки жесткости (L) является диапазон от 0,2 до 0,25. Заметим, что пилоны вантового моста всегда выше пилонов висячего моста, у которого соотношение H/L составляет величину порядка 0,1. Высота пилона также определяет угол наклона крайних вант, который не должен быть меньше 25°, чтобы в вантах не возникли большие провисания. Высота пилона под балкой жесткости (высота опоры) определяется по геологическим и гидрологическим требованиям [16].

Анализ проводился на примере трехпролетного вантового моста с соотношением пролетов 100+210+100 м с пилонами типов: ромбовидный, малый ромбовидный, Y-перевернутый, А, Н и П-образный. Статический анализ проводился с использованием программного комплекса Midas/Civil [17].

Расчетная схема вантового моста включала 247 узлов, 101 стержневой элемент и 80 гибких нитей. Пролетное строение крепится к пилонам через анкеры при помощи вант длиной от 26 до 108 м. Ванты сформированы из параллельных прядей диаметром 15,2 мм, каждая из которых состоит из 7 стальных оцинкованных проволок. Ванты включают в себя от 36 до 80 прядей, каждая из которых имеет индивидуальную оболочку. Характеристики поперечного сечения вант приведены в таблице 1.

Таблица 1

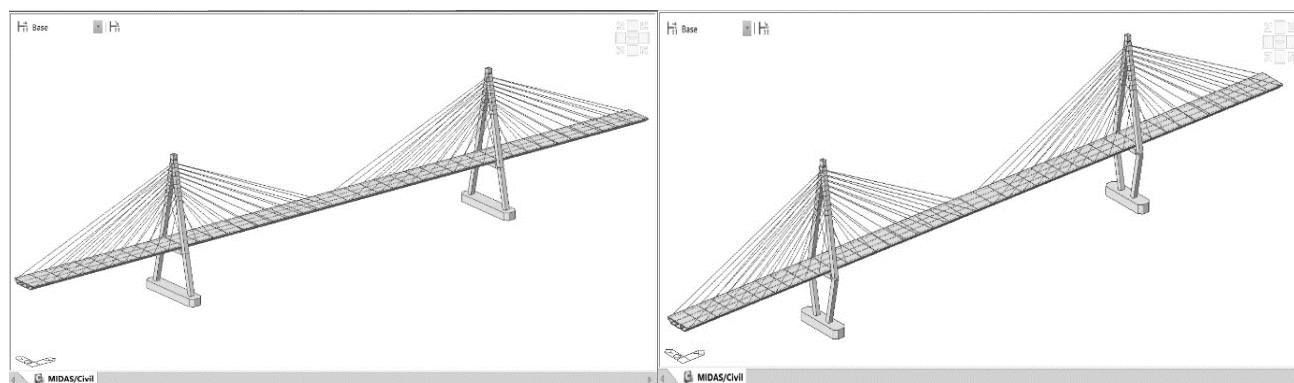
Поперечное сечение вантов

Номер вант	Диаметр (мм)	Площадь сечения (мм ²)	Номер вант	Диаметр (мм)	Площадь сечения (мм ²)
1	120	11310	11	80	5026
2	120	11310	12	80	5026
3	110	9503	13	90	6362
4	110	9503	14	100	7854
5	110	9503	15	100	7854
6	100	7854	16	110	9503
7	100	7854	17	110	9503
8	90	6362	18	110	9503
9	80	5026	19	120	11310
10	80	5026	20	120	11310

Составлено авторами

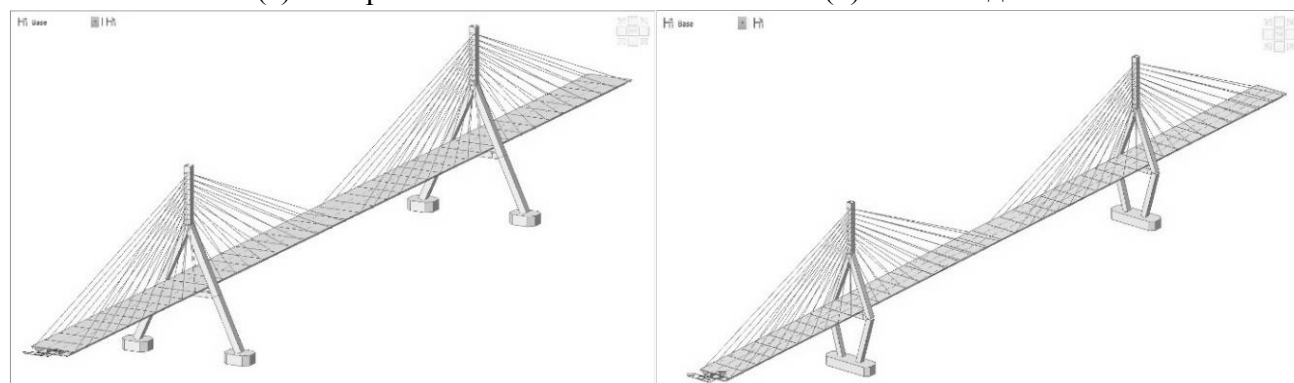
Вантовая система моста состоит из двух наклонных плоскостей вант. Плоскости вант веерные. С каждой стороны пилона крепится по 20 вант. Высота пилона над балкой жесткости 42 м, под балкой жесткости 20 м.

Материал балки и жесткости и пилона – бетон с модулем упругости 36000 МПа, удельным весом 25 кН/м³, коэффициентом Пуассона 0,2. Материал вантов – высокопрочная сталь с модулем упругости 199950 МПа, удельным весом 77,09 кН/м³, коэффициентом Пуассона 0,3. Балка жесткости имеет коробчатое сечение площадью 8,57 м². Ширина балка 16,7 м, высота 2,2 м. Поперечное сечение пилонов (рис. 2а,б,в,г,д,е): в верхней части под балкой жесткости 2,5×2,5 м с толщиной 0,5 м, в нижней части 2,5×2,5 м. Нижняя распорка имеет сечение 2×2 м с толщиной стенки 0,2 м (рис. 2а,б,в,г,д,е). Верхняя распорка имеет сечение 2,5×2,5 м (рис. 2д,е).



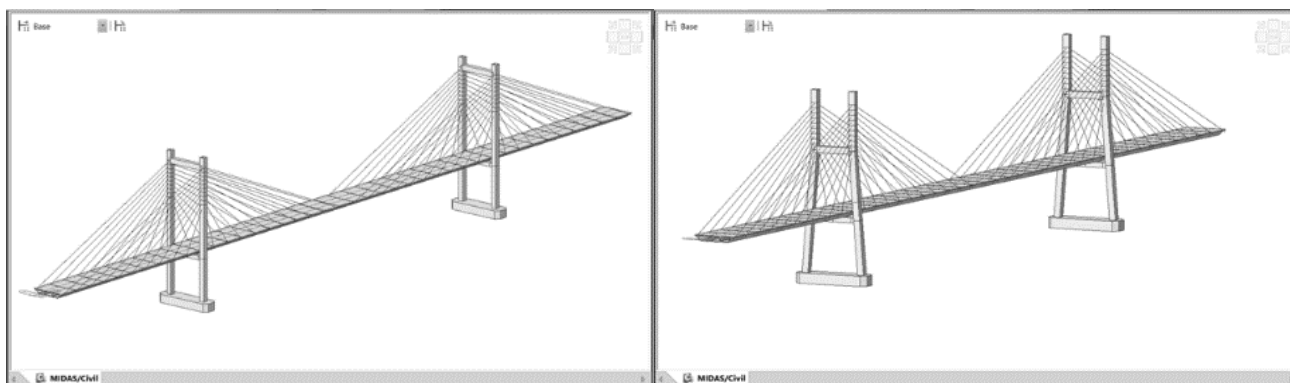
(а) А-образный

(б) Ромбовидный



(в) Y-перевернутый

(г) малый ромбовидный



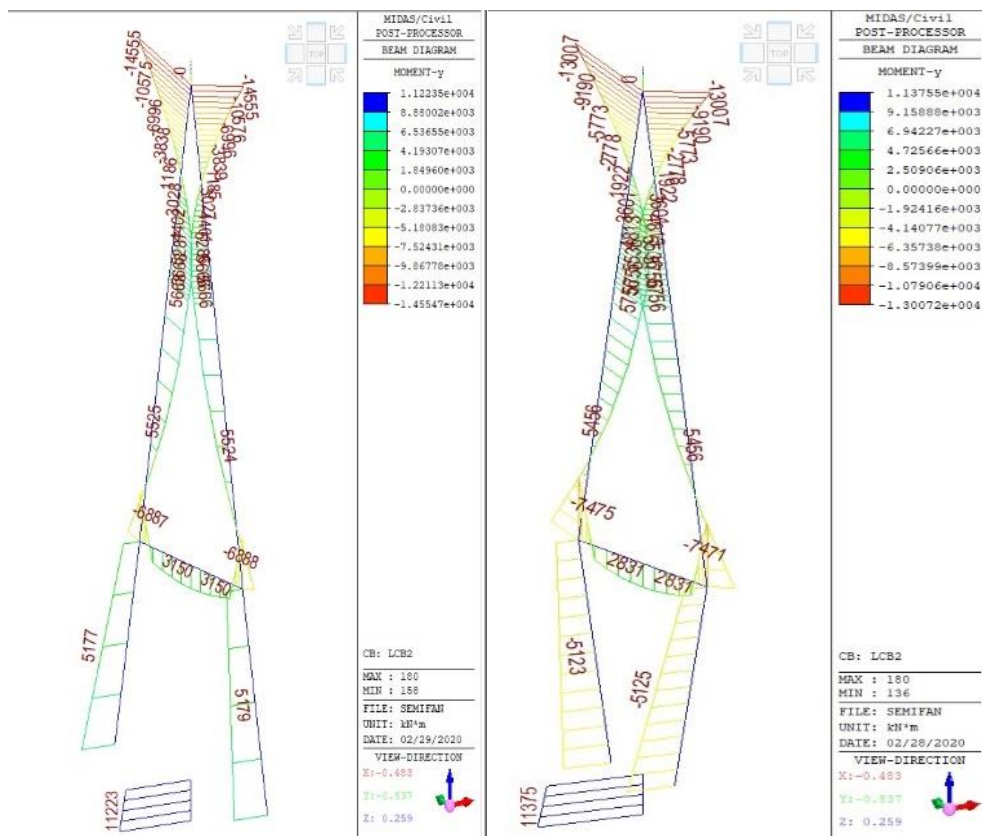
(д) П-образный

(е) Н-образный

Рисунок 2. Расчетные схемы вантового моста с А-образным, ромбовидным, У перевернутым, П и Н образными пилонами в Midas/Civil (составлен авторами)

Результаты расчета

В результате выполненных численных расчетов вантовых мостов с разными формами пилонов получены изгибающие моменты, продольные усилия, поперечные силы, напряжения (рис. 3–6) и прогиб (таблица 2) пилонов от собственного веса. Изгибающие моменты в балке жесткости от собственного веса при различных формах пилона показаны на рис. 7. Вантовая система имеет симметричность по середине моста и потому усилия в вантах приведены для 20 вант на рисунке 8.



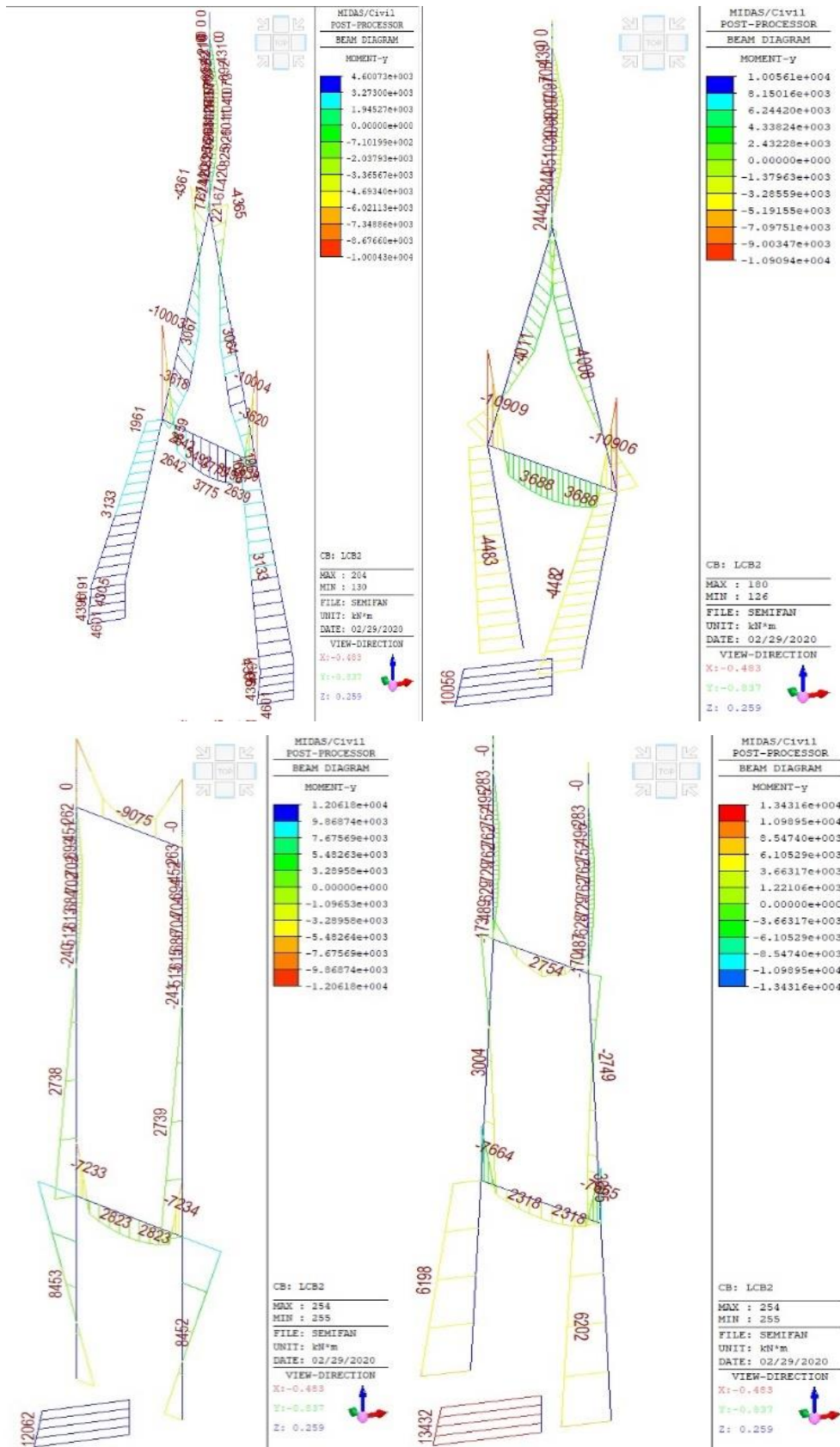
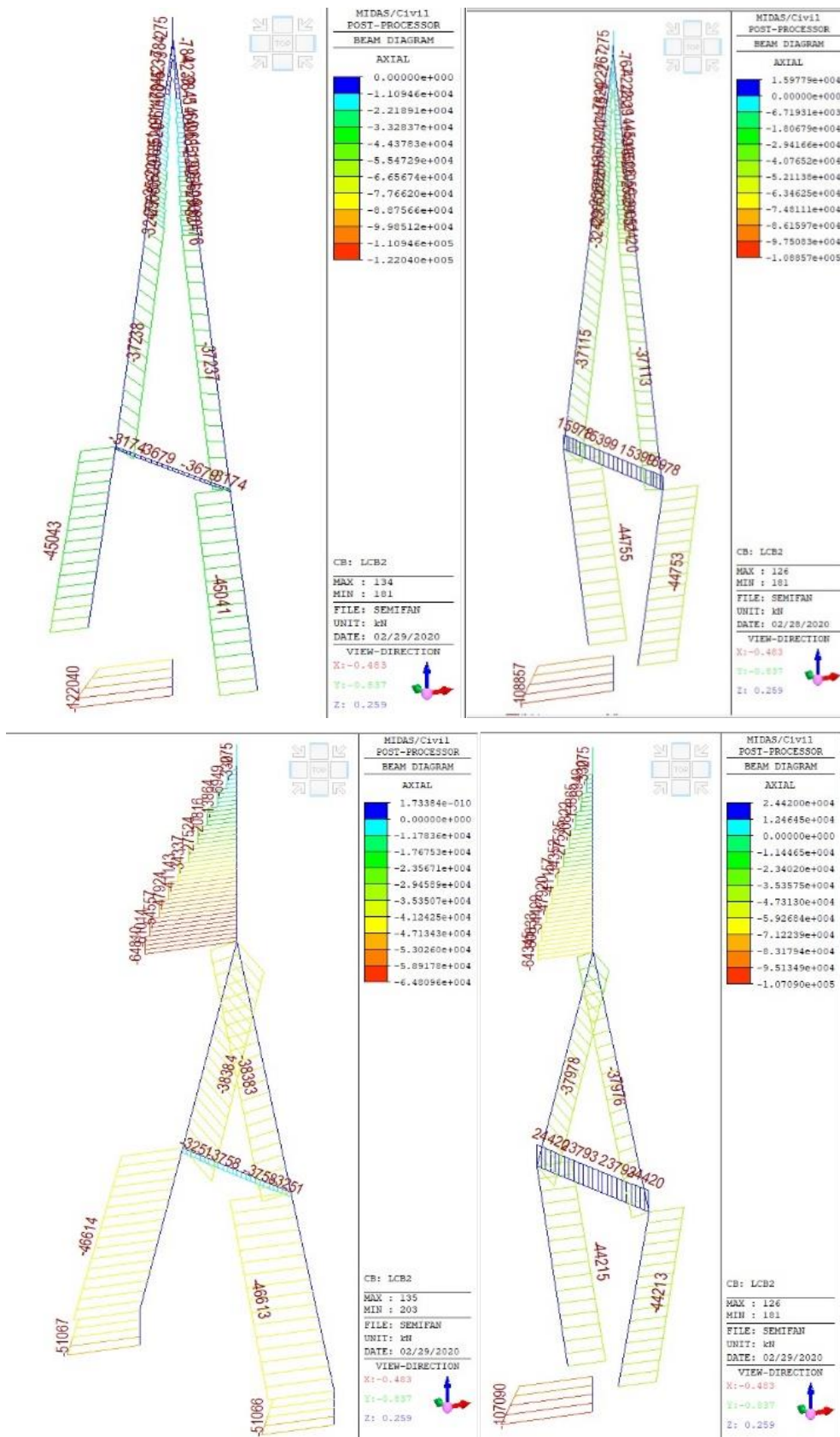


Рисунок 3. Изгибающие моменты в пилонах различного типа от собственного веса (составлен авторами)



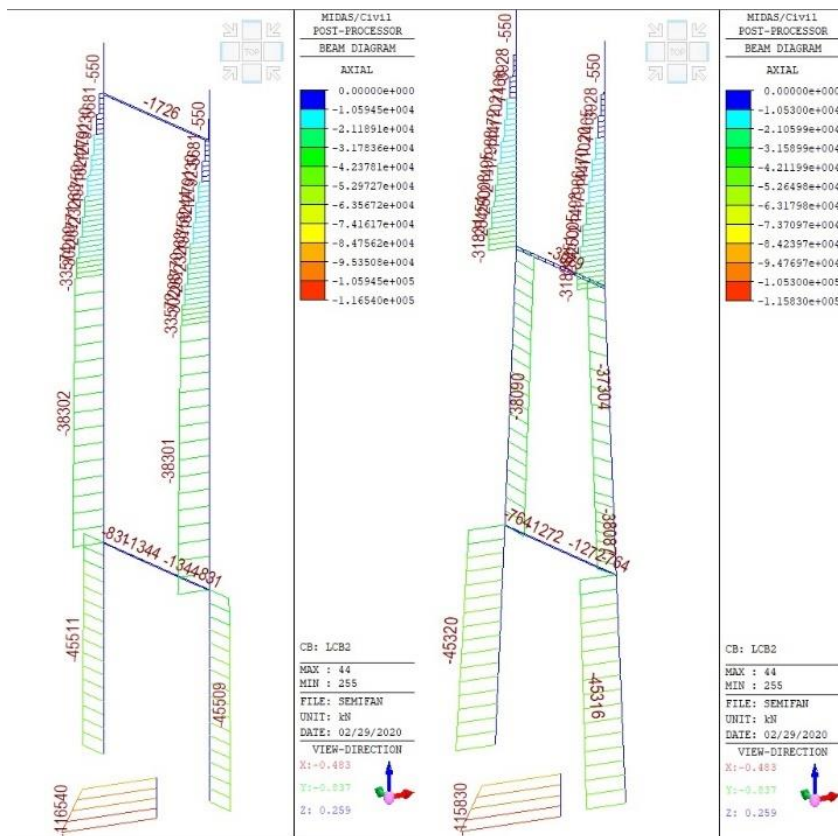
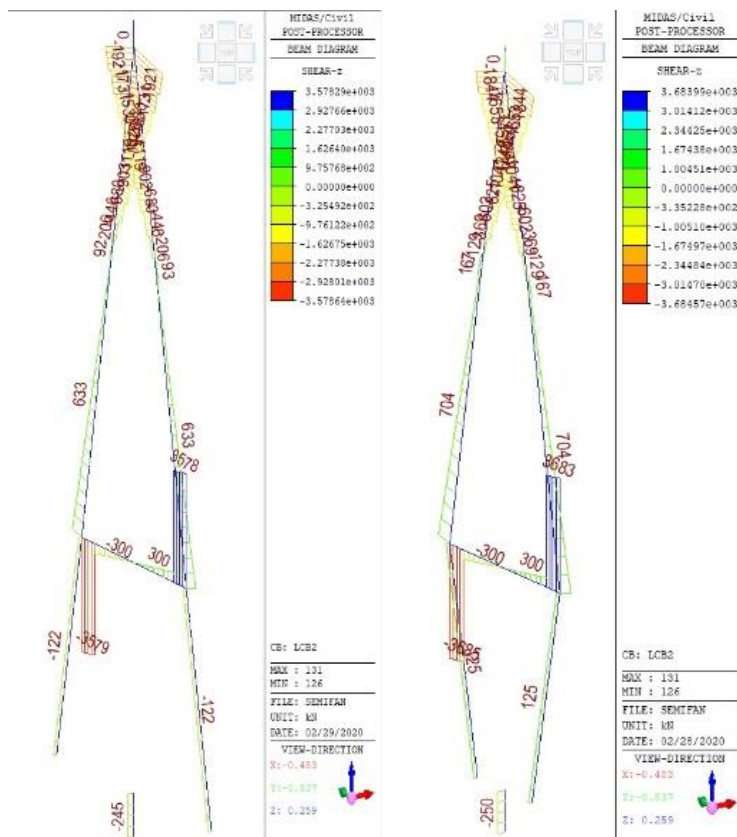


Рисунок 4. Продольные усилия в пилонах разного типа от действия собственного веса (составлен авторами)



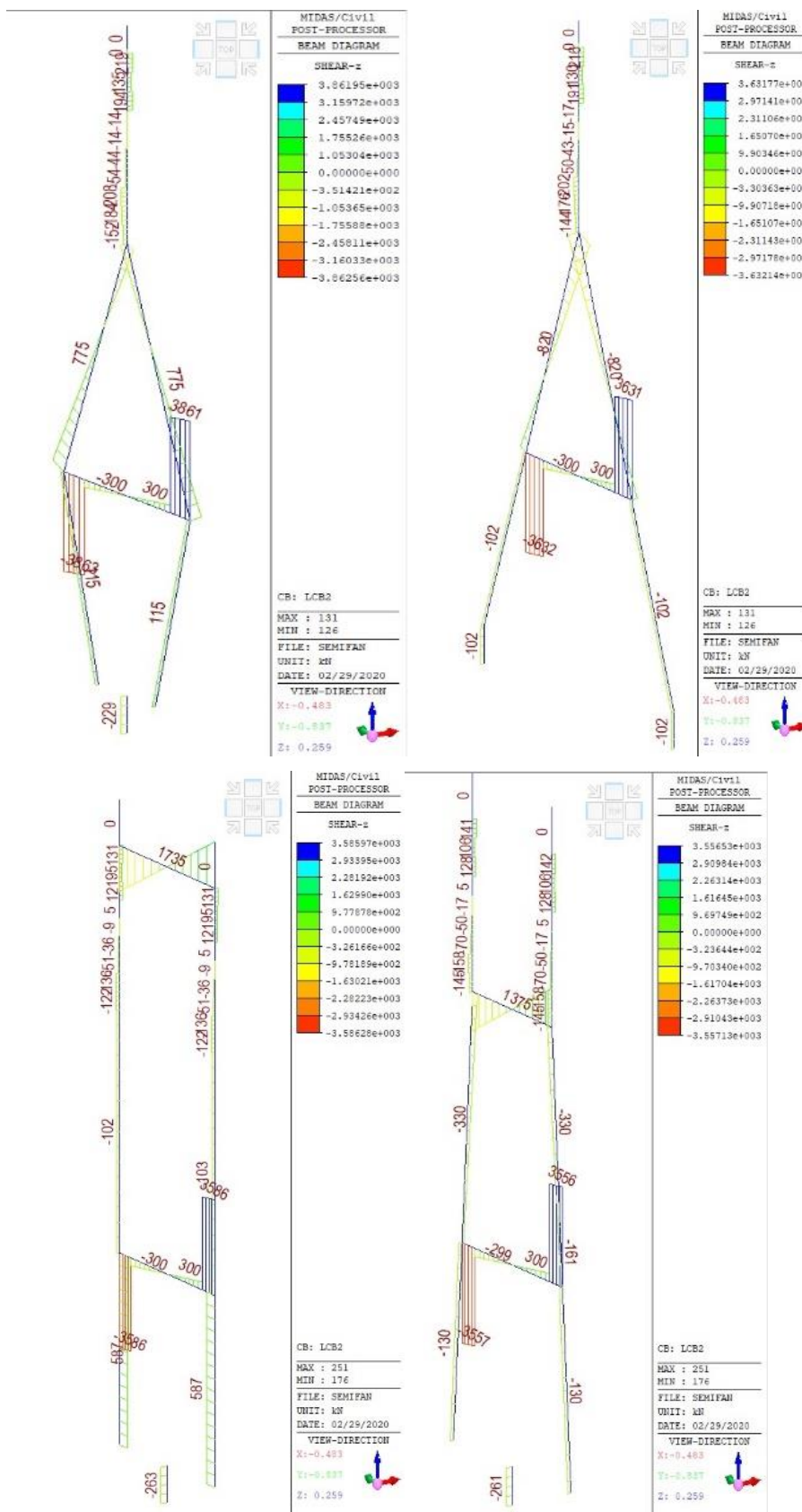
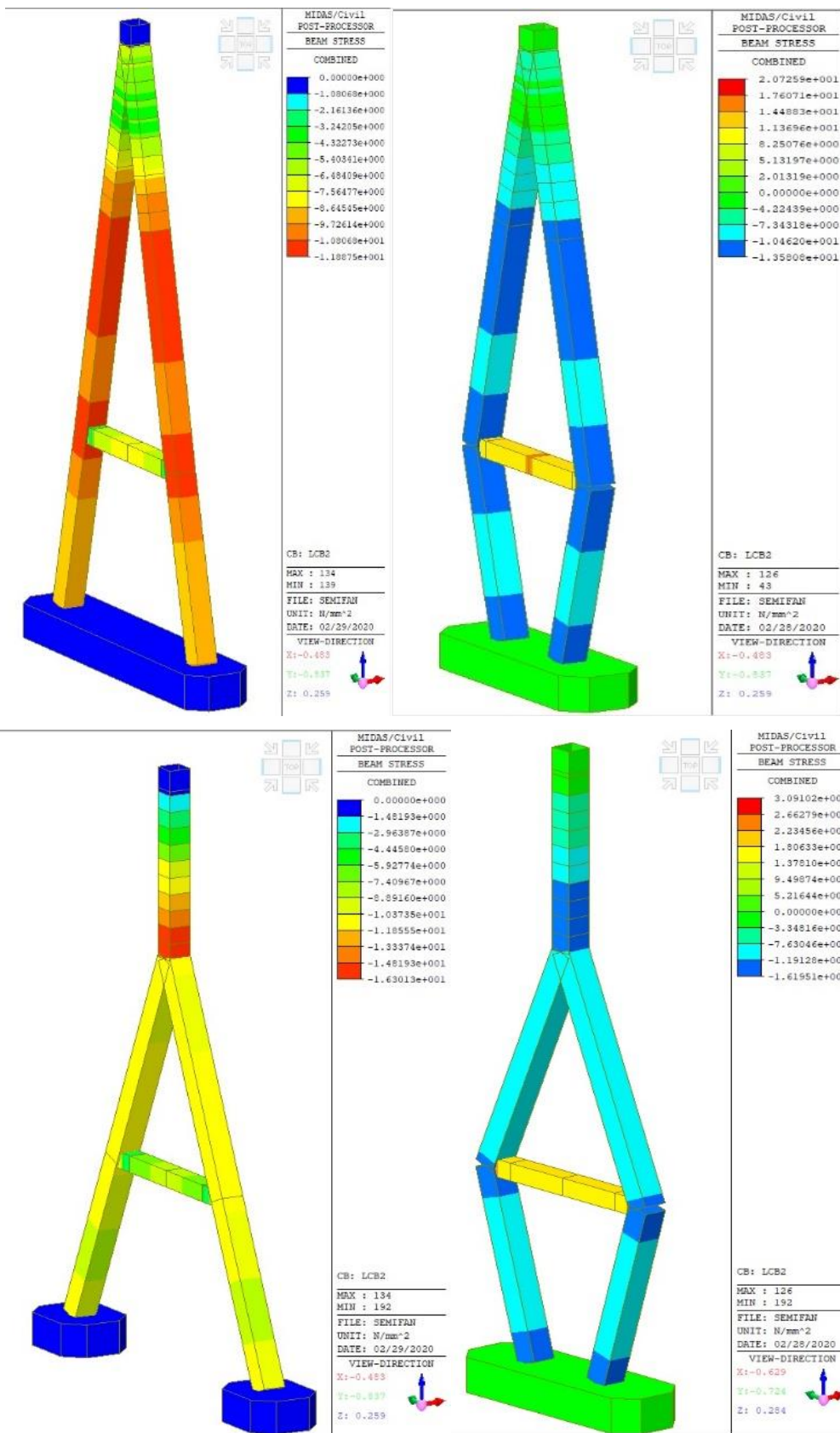


Рисунок 5. Поперечные силы в пилах разного типа от действия собственного веса (составлен авторами)



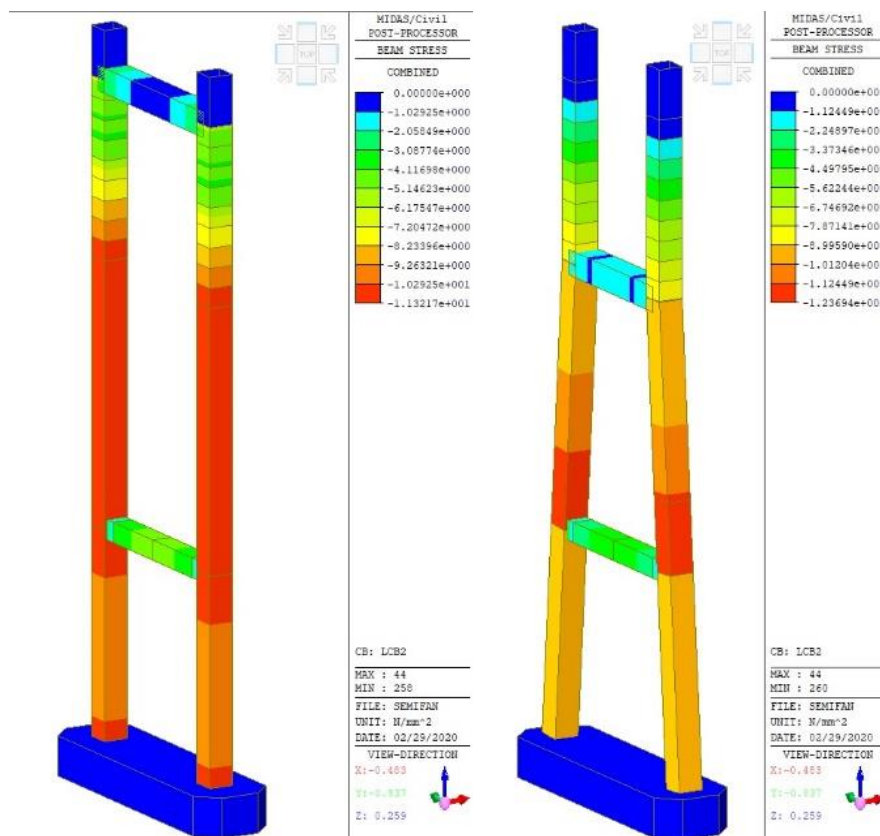


Рисунок 6. Напряжение в пилонах разного типа от действия собственного веса (составлен авторами)

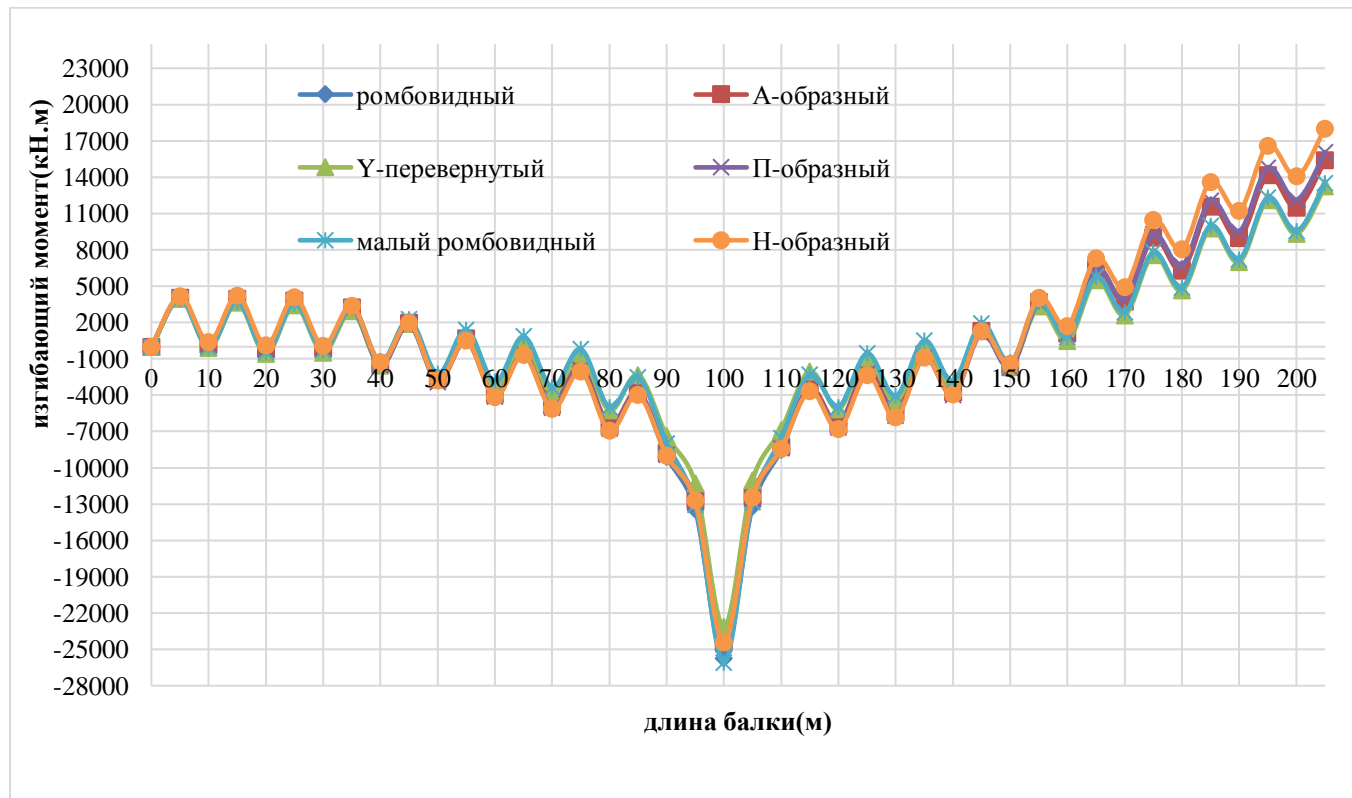


Рисунок 7. Изгибающий момент в балке жесткости от действия собственного веса при различных формах пилонов (составлен авторами)

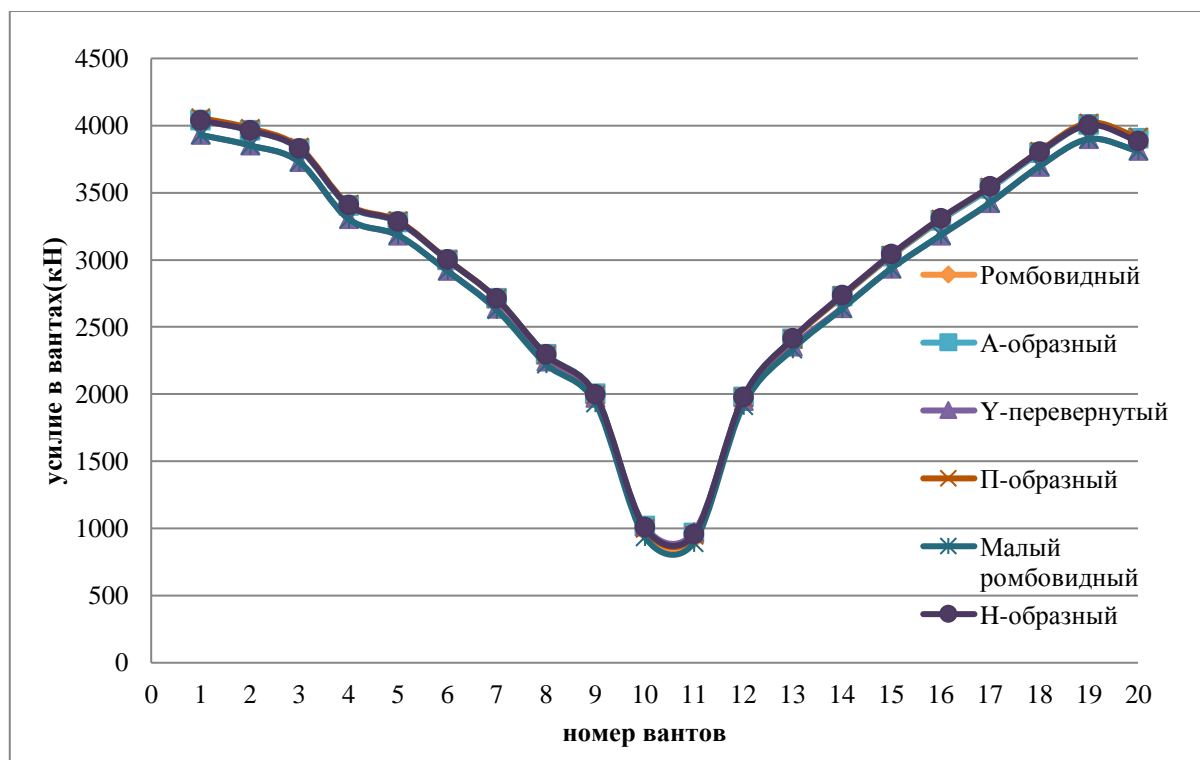


Рисунок 8. Усилия в вантах от действия собственного веса при различных формах пилонов (составлен авторами)

Таблица 2

Максимальные прогибы балки жесткости и отклонения верха пилонов от вертикали от действия собственного веса при различных формах пилонов

	А-образный	Ромбовидный	У-перевернутый	Малый ромбовидный	П-образный	Н-образный
Мах. Прогиб в балке(мм)	-152	-155	-132	-137	-156	-179
Мах. Перемещение верха пилона(мм)	58	59	52	53	59	65

Составлено авторами

В таблице 3 приведены данные о максимальных величинах усилий и напряжений в пилонах различного типа в верхней их части (выше балки жесткости) и нижней части (ниже балки жесткости).

Таблица 3

Максимальные усилия и напряжения в пилонах разного типа от действия собственного веса

Наименование усилия	Тип пилона	А-образный	Ромбовидный	У-перевернутый	Малый ромбовидный	П-образный	Н-образный
Изгибающий момент (кНм)	Верхняя часть	-14555	-13007	-4365	-4011	2739	3005
	Нижняя часть	5179	-5125	4305	-4483	8452	6202
Продольное усилие (кН)	Верхняя часть	-35771	-37115	-38384	-37978	-36834	-38090
	Нижняя часть	-43230	-44755	-46613	-44215	-45511	-45320

Наименование усилия	Тип пилона	А-образный	Ромбовидный	У-перевернутый	Малый ромбовидный	П-образный	Н-образный
Поперечная сила (кН)	Верхняя часть	-1921	-1844	-820	775	-102	-330
	Нижняя часть	-122	125	-102	115	587	-130
Напряжение (Н/мм ²)	Верхняя часть	-11,9	-12,7	-11,6	-12,2	-11,3	-12,4
	Нижняя часть	-11,5	-13,6	-10,8	-14,5	-11	-10

Составлено авторами

Сравнительный анализ пилонов различной формы

Сравнение пилона А-образной формы с пилоном ромбовидной формы

В пилоне А-образной формы максимальный изгибающий момент в верхней части пилона (над балкой жесткости) на 12 % больше, чем в пилоне ромбовидной формы. В нижней части А-образного пилона (под балкой жесткости) возникает положительный изгибающий момент, а в нижней части ромбовидного пилона изгибающий момент отрицательный (смотри таблицу 3). В пилоне А-образного типа в верхней части продольное усилие на 3,6 % меньше усилия в ромбовидном пилоне, но в нижней части усилие в ромбовидном пилоне превышает усилие в А-образном пилоне на 3,4 %. В верхней части пилона А-образного типа поперечная сила на 4,2 % больше, чем поперечная сила в пилоне ромбовидной формы, а в нижней части значения поперечных сил отличаются даже по знаку. Сжимающие напряжения у пилона ромбовидной формы превышают напряжения в пилоне А-образной формы на 6,7 % в верхней и на 18,3 % в нижней части пилона. В пилоне А-образного типа прогибы балки жесткости и смещение верха пилона по горизонтали меньше соответственно на 3 мм и 1 мм. Что же касается величин изгибающего момента в балке жесткости (рис. 7) и усилий в вантах (рис. 8), то они отличаются незначительно.

Сравнение пилонов У-перевернутой формы и малой ромбовидной формы

В пилоне У-перевернутого вида в верхней части пилона (над балкой жесткости) максимальный изгибающий момент на 8,8 % больше максимального изгибающего момента в пилоне малой ромбовидной формы. В нижней части У-образного пилона (под балкой жесткости) изгибающий момент положительный, а в нижней части пилона малой ромбовидной формы изгибающий момент отрицательный. Продольное усилие в верхней части пилона У-образного вида на 1,1 % больше усилия в пилоне малой ромбовидной формы, а в нижней части усилие у пилона малой ромбовидной формы меньше на 5,4 %. Сжимающие напряжения у пилона малой ромбовидной формы на 5,2 % (в верхней части пилона) и на 34,3 % (в нижней части пилона) превышают напряжения в пилоне У-перевернутого вида. В пилоне У-перевернутого типа прогибы балки жесткости и смещение верха пилона по горизонтали меньше соответственно на 5 мм и 1 мм, чем у пилона малой ромбовидной формы. Величины изгибающего момента в балке жесткости (рис. 7) и усилия в вантах (рис. 8) для обоих типов пилонов отличаются незначительно.

Сравнение пилонов П-образной Н-образной формы

В пилоне П-образного вида максимальный изгибающий момент (в верхней части пилона над балкой жесткости) на 9,7 % меньше, чем у пилона Н-образного вида. В нижней части

П-образного пилона под балкой жесткости величина изгибающего момента на 36,3 % больше. Продольное усилие в пилоне П-образного типа на 3,4 % меньше, чем в пилоне Н-образного типа (в верхней части), в нижней же части у пилона Н-образного вида усилие меньше на 0,4 %. В верхней части пилона П-образного вида поперечная сила почти в 3 раза меньше, чем в пилоне Н-образного типа, а в нижней части поперечные силы отличаются даже знаками. Сжимающие напряжения у пилона Н-образной формы больше на 9,7 % чем в пилоне П-образной формы в верхней части пилона и меньше на 10 % в нижней части пилона. В пилоне П-образного типа прогибы балки жесткости и смещение верха пилона по горизонтали меньше соответственно на 23 мм и 6 мм, чем у пилона Н-образного типа. Изгибающий момент в балке жесткости с пилоном Н-образной формы больше на 12 %, чем в балке жесткости с пилоном П-образного вида. Усилия в вантах от собственного веса у обоих пилонов похожи.

Заключение

- Пилон А-образной формы имеет максимальный изгибающий момент. Пилон У-перевернутой формы имеет минимальный изгибающий момент. Пилон У-перевернутой формы имеет максимальную поперечную и продольную силы. А минимальные силы находятся в пилоне А-образного вида.
- Максимальный вертикальный прогиб балки жесткости имеет вантовая система с пилоном Н-образной формы, а минимальный – с пилоном У-перевернутой формы.
- Пилоны П и Н-образных форм имеют минимальное сжимающие напряжения. В пилонах ромбовидной и малой ромбовидной форм возникают высокие сжимающие напряжения. У пилонов типа А и У-перевернутый напряжения имеют среднюю величину.
- Максимальный изгибающий момент в балке жесткости от собственного веса возникает для случая пилон Н-образного вида, а минимальный момент для случая с пилоном У-перевернутого типа. Максимальная разница в величине изгибающего момента в середине пролета может достигать 70 %.
- Максимальное усилие в вантах от действия собственного веса возникает в случае пилон Н-образной формы, а минимальное при использовании пилон У-перевернутой образной формы. Разница между максимальными и минимальными значениями составляет 4 %.

Проведенное исследование позволяет оценить эффективность применения пилон той или иной формы в вантовых мостах. При этом понятно, что полученные результаты имеют ограниченную область применения. Однако они позволяют на этапе предварительного проектирования оценить применимость железобетонных пилонов различной формы в вантовых мостах.

Недавно появилось учебное пособие профессора С.А. Бахтина [18], в котором рассматриваются преимущества и недостатки вантовых и висячих мостовых сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Podolny W., Scalzi J. Construction and design of cable-stayed bridges. John Wiley and Sons, New York, 1976.
2. Петропавловский А.А. Вантовые мосты. – М.: Транспорт, 1985. 224 с.

3. M. Ito, Y. Fijuno, T. Miyata, N. Nariga. Cable-stayed bridges: recent developments and their future. Elsevier. The Netherlands 1991.
4. F. Leonhardt and W. Zeller, Past, present and future of cable-stayed bridges. In M. Ito, editor. Cable-Stayed Bridges, Recent Developments and their Future. The Netherlands, 1991.
5. R. Walther, B. Houriet, W. Isler, P. Moia, J.F. Klein. Cable stayed bridges. Thomas Telford. Second edition. London 1999.
6. Солохин В.Ф., Дядькин С.Н., Овчинников И.Г. и др. Отечественное мостостроение на рубеже XX–XXI веков: современные технологии на примере сооружения вантового автодорожного моста через реку Обь у города Сургута (монография). Саратов: Сарат. Гос. Техн. ун-т. 2002. – 128 с. ц. ил. 32 с.
7. Бычковский Н.Н., Бычковский С.Н., Пименов С.И. Вантовые мосты. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2007. 648 с.
8. Овчинников И.Г., Инамов Р.Р., Бахтин С.А., Овчинников И.И. Висячие и вантовые мосты: эстетические проблемы. Саратов: Сарат. Гос. Техн. ун-т. 2002. 107 с.
9. Holger Svensson. Cable-stayed bridges, 40 years of experience world wide. Germany 2012. P. 23.
10. Elizabeth Davalos. Structural Behavior of Cable-stayed Bridges, thesis master of engineering in civil and environmental engineering at the Massachusetts institute of technology. 2000. 74 p.
11. Hussain Hararwala, Savita Maru. Comparison between the behavior of the different shapes of pylon in the linear static analysis of cable stayed bridge using SAP2000 // International Journal of Bridge Engineering (IJBE), Vol. 5, No. 2, (2017), pp. 81–102.
12. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Кононович В.И. Оценка достоверности численных расчетов при проектировании: доверять или не доверять компьютерам? // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 200-й годовщине победы России в Отечественной войне 1812 года «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе». Том 3. Модернизация в сфере эксплуатации, строительства и реконструкции объектов транспортной инфраструктуры. Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета. Пермь. 2012. с. 377–388.
13. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Кононович В.И. Проектирование сложных объектов. Проблема надежности и достоверности компьютерных расчетов. Часть 1 // Дороги. Инновации в строительстве. СПб. 2012, №18, с. 12–15.
14. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Кононович В.И. Проектирование сложных объектов. Проблема надежности и достоверности компьютерных расчетов. Часть 2 // Дороги. Инновации в строительстве. СПб. 2012, №19, с. 64–66.
15. Адылов А.М., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Мандрик-Котов Б.Б. Обеспечение достоверности результатов компьютерного моделирования поведения мостовых конструкций // Транспортные сооружения, 2019 №3, с. 1–32. <https://t-s.today/PDF/32SAT319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/32SAT319.
16. Leonhardt, F. Cable stayed bridges with prestressed concrete, Zurich 1980.
17. Расчет транспортных и гражданских сооружений, руководство по расчетам Miads/Civil. <http://ru.midasuser.com/web/page.php?no=60>.
18. Бахтин С.А. Висячие и вантовые мосты: учебное пособие / С.А. Бахтин. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2019. 303 с.

Valiev Sherali Nazaralievich

Moscow automobile and road construction state technical university, Moscow, Russia
E-mail: vshn2014@gmail.com

Maung Maung Win Aung

Moscow automobile and road construction state technical university, Moscow, Russia
E-mail: mgmgwinag@gmail.com

Ovchinnikov Ilya Igorevich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: bridgeart@mail.ru

The behavior of reinforced concrete pylons in the static analysis of cable-stayed bridges

Abstract. In this paper, we consider a linear static analysis of cable-stayed bridges with different pylon shapes under their own weight. The cable-stayed bridge is one of the modern bridges that are built to cover large spans. It is therefore necessary to study the behavior of the pylons before you can apply it in practice. For this study, different pylon shapes are compared with the size of the bridge span, while other parameters remain unchanged. The various forms of pylons considered for a cable-stayed bridge are diamond, small diamond, Y-inverted, A, H and U-shaped. The height of the pylon remains the same for all cable-stayed bridge models with different pylon shapes. The bridge simulation was prepared using the Midas/Civil software. For this study, the semi-fan type cable-stayed bridge was adopted. The study gives the deformed state of the pylons, i.e. bending moments, transverse and longitudinal forces, and deflections. This study will be useful for selecting the shape of the pylon for the bridge used in specific conditions.

Keywords: cable-stayed bridge; pylons; static linear analysis; software Midas/Civil

REFERENCES

1. Podolny W., Scalzi J. (1976). *Construction and design of cable-stayed bridges*. New York: John Wiley and Sons.
2. Petropavlovskiy A.A. (1985). *Vantovye mosty. [Cable-stayed bridges.]* Moscow: Transport, p. 224.
3. Ito M., Fijuno Y., Miyata T., Nariga N. (1991). *Cable-stayed bridges: recent developments and their future*. Netherlands: Elsevier.
4. F. Leonhardt, Zeller W. (1991). *Past, present and future of cable-stayed bridges*. Ed. by M. Ito. Netherlands: Cable-Stayed Bridges, Recent Developments and their Future.
5. Walther R., Houriet B., Isler W., Moia P., Klein J.F. (1999). *Cable stayed bridges. Thomas Telford*. London: Second edition.
6. Solokhin V.F., Dyad'kin S.N., Ovchinnikov I.G. and etc. (2002). *Otechestvennoe mostostroenie na rubezhe XX–XXI vekov: sovremennyye tekhnologii na primere sooruzheniya vantovogo avtodorozhnogo mosta cherez reku Ob' u goroda Surguta (monografiya). [Domestic bridge building at the turn of the XX–XXI centuries: modern technologies on the example of the construction of a cable-stayed highway bridge over the Ob River near the city of Surgut (monograph).]* Saratov: Saratov State Technical University, p. 128.

7. Bychkovskiy N.N., Bychkovskiy S.N., Pimenov S.I. (2007). Vantovye mosty. [*Cable-stayed bridges.*] Saratov: Saratov State Technical University, p. 648.
8. Ovchinnikov I.G., Inamov R.R., Bakhtin S.A., Ovchinnikov I.I. (2002). Visyachie i vantovye mosty: ehsteticheskie problemy. [*Suspension and cable-stayed bridges: aesthetic problems.*] Saratov: Saratov State Technical University, p. 107.
9. Holger Svensson (2012). *Cable-stayed bridges, 40 years of experience world wide*. Gremany, p. 23.
10. Elizabeth Davalos (2000). *Structural Behavior of Cable-stayed Bridges, thesis master of engineering in civil and environmental engineering at the Massachusetts institute of technology*. p. 74.
11. Hussain Hararwala, Savita Maru (2017). Comparison between the behavior of the different shapes of pylon in the linear static analysis of cable stayed bridge using SAP2000. *International Journal of Bridge Engineering*, 2(5), pp. 81–102.
12. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Kononovich V.I. (2012). Otsenka dostovernosti chislennykh raschetov pri proektirovanii: doveryat' ili ne doveryat' komp'yuteram? [*Reliability assessment of numerical calculations during design: trust or not trust computers?*] Perm: Publishing House of Perm National Research Polytechnic University, pp. 377–388.
13. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Kononovich V.I. (2012). Designing complex objects. The problem of reliability and reliability of computer calculations. Part 1. *Roads. Building Innovation*, 18, pp. 12–15 (in Russian).
14. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Kononovich V.I. (2012). Designing complex objects. The problem of reliability and reliability of computer calculations. Part 2. *Roads. Building Innovation*, 19, pp. 64–66 (in Russian).
15. Adylov A.M., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Mandrik-Kotov B.B. (2019). Ensuring the reliability of the results of computer modeling of the behavior of bridge structures. *Russian journal of transport engineering*, [online] 3(6), pp. 1–32. Available at: <https://t-s.today/PDF/32SATS319.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/32SATS319.
16. Leonhardt F. (1980). *Cable stayed bridges with prestressed concrete*. Zurich.
17. Midasuser. (n.d.). *Calculation of transport and civil structures, Miads / Civil calculation guide*. [online] Available at: <http://ru.midasuser.com/web/page.php?no=60> (in Russian).
18. Bakhtin S.A. (2019). Visyachie i vantovye mosty: uchebnoe posobie. [*Suspension and cable-stayed bridges: a training manual.*] Novosibirsk: Publishing House Siberian State University of Railway Engineering, p. 303.