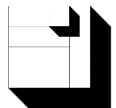


# Особенности проектирования мостов из алюминиевых сплавов

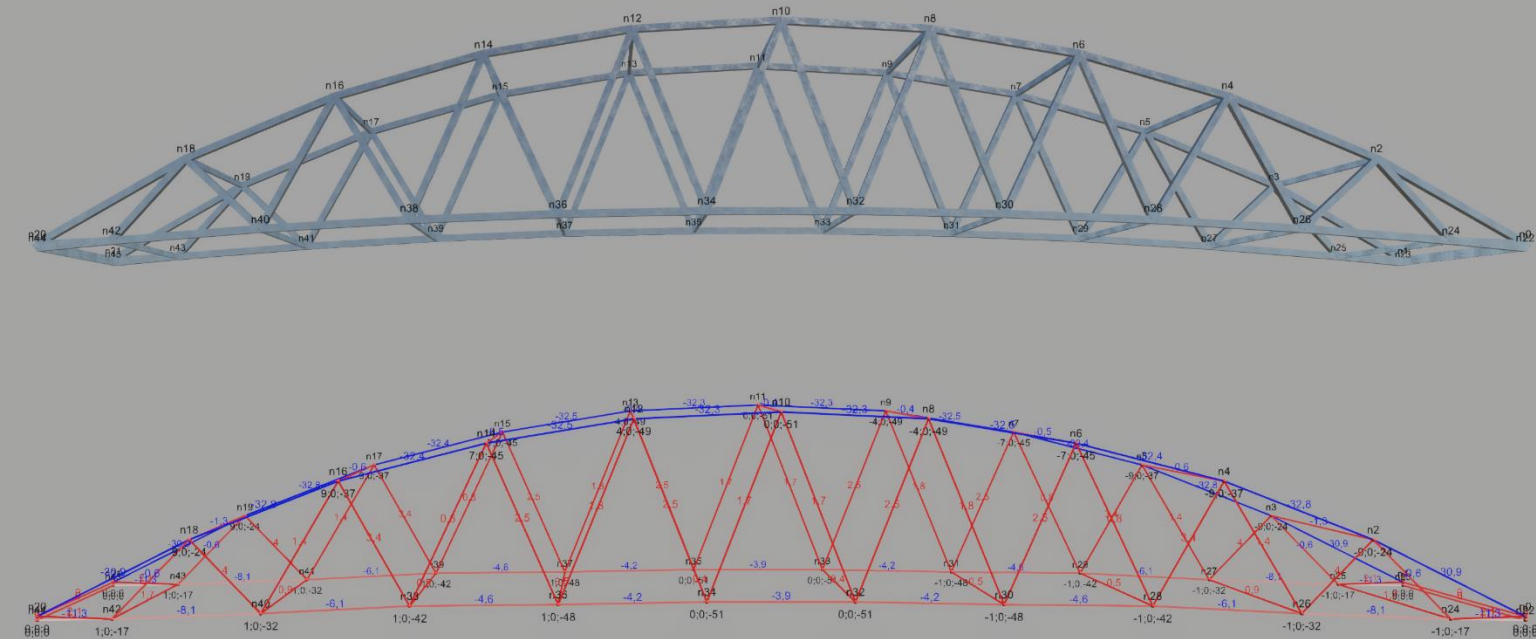
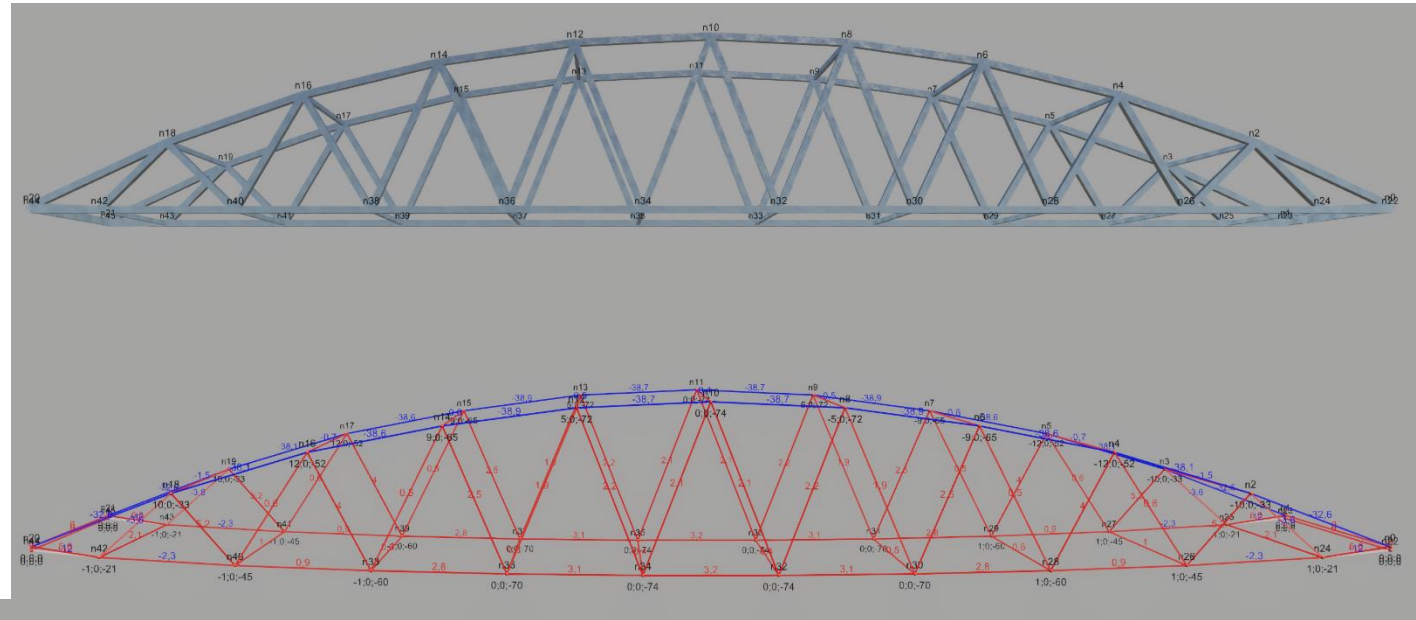
---



# 1. Особенности выполнения статического расчета

Если выделить основные особенности при выполнении статического расчета, то в первую очередь выделяется модуль упругости алюминия, в среднем равный  $7 \times 10^5$  МПа. Это в среднем в 3 раза ниже чем значение модуля упругости для конструкций из стали. Но это не большая проблема, так как за счет различных конструктивных методов можно добиться более оптимальной конструкции пролетного строения без значительного увеличения металлоемкости.

Для примера арочная конструкция:



Вес верхнего пролетного строения составил 4.91 тонны, вес нижнего 4.94 тонны, при этом за счет увеличения арочности прогиб пролетного строения уменьшился с 74 мм до 51 мм.

# 1. Особенности выполнения статического расчета

Второй значительной особенностью алюминия является низкий предел выносливости по сравнению со сталью. В России на данный момент для изготовления строительных конструкций применяются 4 сплава:

1. АД35Т1 – предел выносливости 65 МПа
2. 1915Т - предел выносливости 100 МПа
3. 1565ЧМ - предел выносливости 55 МПа
4. 6082Т6 - предел выносливости 100 МПа

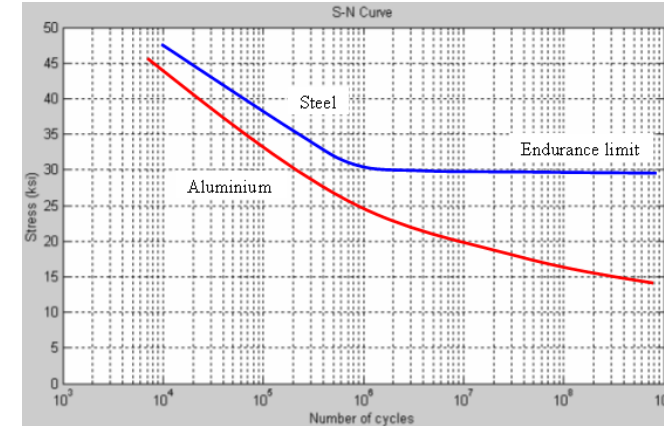
На данный момент ведется работа по получению сплава с пределом выносливости более 100 МПа.

По российским нормам расчет выносливости отличается для стали и алюминия. Общий принцип неизменен, ведется сравнение уровней напряжения в покое и под временной нагрузкой:

$$\rho = \frac{\delta_{\min}}{\delta_{\max}}$$

Для конструкций из алюминия уровень асимметрии циклов напряжений в районе 0.3, при этом для стали он будет в двое выше. Но при всем этом в методике Eurocode 9 по расчету на выносливость алюминиевых сплавов коэффициент асимметрии циклов напряжений не вносит на столько значительный вклад, как его вносит предел выносливости сплава.

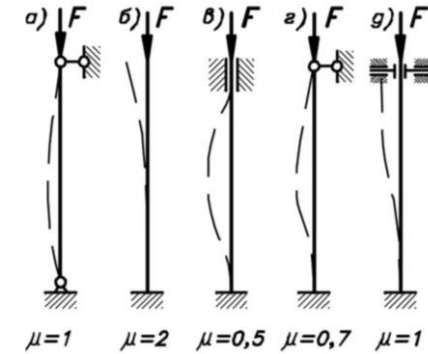
В перспективе ведется работа на уровне создания единого подхода к расчету на выносливость и стали и алюминия. В текущем состоянии национально технических регламентов, более увеличенные профили алюминия по отношению к стали при прочих равных, нивелируются намного большим сроком эксплуатации без капитальных вложений на ремонт в течении жизненного цикла конструкции.



# 1. Особенности выполнения статического расчета

Третьей особенностью является гибкость конструкции. Согласно технических регламентов РФ ([СП 443.1325800.2019](#)), гибкость конструкции не должна превышать предельных значений. При этом в одном и том же случае стальной растянутый стержень с 10 кратным запасом по прочности будет в 3.5 раза меньше по отношению к алюминиевому из за радиуса инерции:

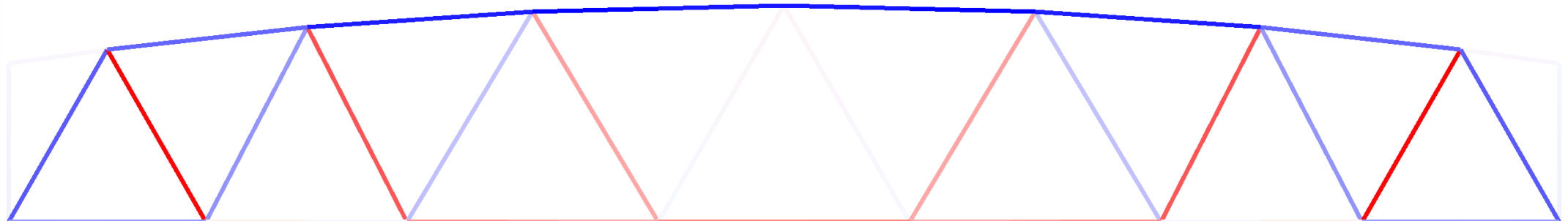
$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} \quad i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}$$



Предельная гибкость для растянутого стального стержня равна 400, для алюминиевого 120. При этом в евро нормах для проектирования такого понятия как предельная гибкость нами не встречалась.

Предельная гибкость для стальных конструкций в советские времена была обоснована практикой эксплуатации, монтажа и такелажно- транспортными операциями. В связи с тем что модуль упругости у алюминия ниже в три раза , то были занижены и предельные гибкости для элементов, в которых поперечное сечение может быть минимальным, но при этом длина данных элементов будет опасной для их перевозки или монтажа. В данный момент ПИ-2 ведет работу совместно с научно-исследовательскими институтами в направлении увеличения предельных гибкостей для растянутых элементов, например элементы связей ферм:

[-26.83	-23.05	4
[-23.05	-19.28	4
[-19.28	-15.5	2
[-15.5	-11.72	6
[-11.72	-7.95	8
[-7.95	-4.17	2
[-4.17	-0.4	4
[-0.4	0.4	6
[0.4	2.16	2
[2.16	3.92	4
[3.92	5.68	9
[5.68	7.44	0
[7.44	9.2	2
[9.2	10.96	0
[10.96	12.72	2



## 2. Особенности выполнения динамического расчета

Основной особенностью алюминиевых конструкций при выполнении динамического расчета является логарифмический декремент колебания или коэффициент затухания:

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \ln \frac{A_0 e^{-\beta t}}{A_0 e^{-\beta(t+T)}} = \ln e^{\beta T} \quad \lambda = \beta T$$

Декремент колебания влияет только на ускорения колебания и это в свою очередь влияет на динамическую комфортность сооружения. В России были исследованы различные пешеходные мосты из алюминиевых конструкций и в ходе данных исследований был уточнён декремент колебания для алюминия. Для алюминиевых мостов с покрытием пешеходной части в виде ортотропной алюминиевой плиты декремент колебания составил 0,05. При использовании в качестве покрытия менее упругих материалов (пластик, дерево, бетон) это в целом увеличило декремент колебания в диапазоне значений от 0,06 до 0,1.

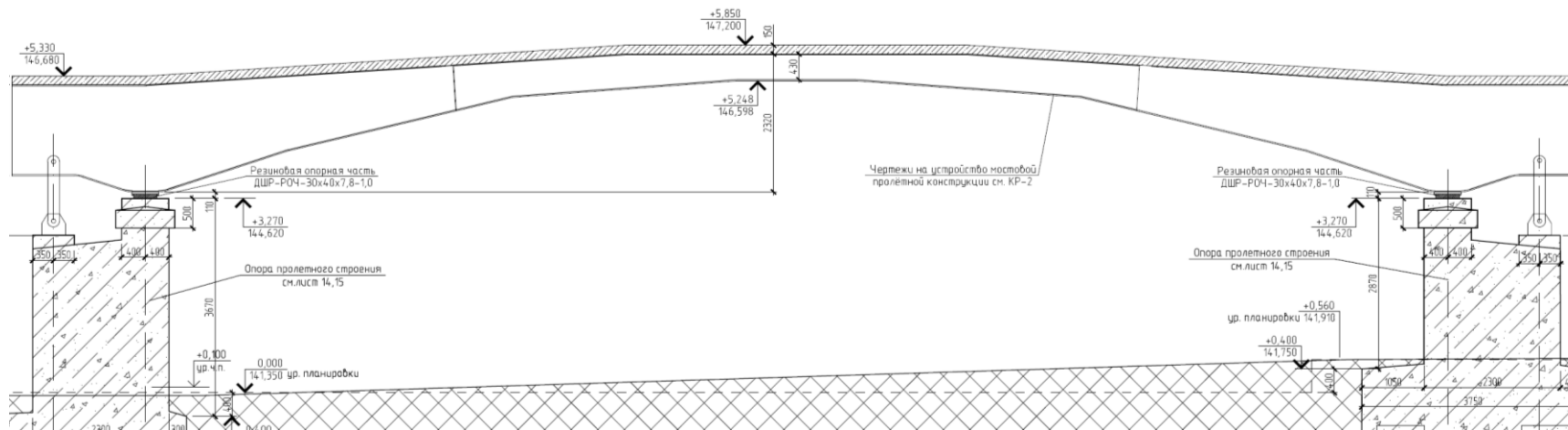
Для сравнения в стальных конструкциях декремент колебания не пересматривался с советских времен и он на данный момент равен 0,1. Однако следует отметить, что и по результатам многочисленных наблюдений и динамических испытаний стальных мостов, декремент для стали завышен и он требует так же пересмотра.

# 3. Особенности конструирования

1. Для выполнения оптимальных решений с точки зрения функциональности сооружений из алюминиевых конструкций и их экономической стороны, необходим более тщательный анализ различных вариантов компоновки структурных схем сооружений.
2. Сложность выполнения сварных соединений конструкций на строительной площадке, в частности аргонно-дуговую сварку или сварку трения с перемешиванием.
3. Для сохранности эстетического вида алюминиевых конструкций необходима их предварительная упаковка для перевозки.
4. Отсутствие полного набора национально технических норм для проектирования, конструирования и расчета алюминиевых конструкций требует более высокую квалификацию инженеров-конструкторов с большим опытом проектирования стальных конструкций.
5. Изготовление любых профилей методом выдавливания намного менее энергозатратно по сравнению со сталью. Единственное ограничение при выдавливании профилей это наличие матрицы выдавливания под необходимый профиль сечения верхняя граница давления пресса выдавливания.
6. Отсутствует широкий набор сортаментов профилей. На данный момент присутствует сложность подбора оптимальных профилей под различные конструктивные схемы. Данная особенность частично решается на этапе подбора оптимальных решений конструкций.

# 4. Особенности конструирования в сейсмических районах

Территория России характеризуется умеренной сейсмичностью от 5 до 10 баллов. Алюминиевые мосты легче стальных аналогов от 30% до 100%. Но с уменьшением веса увеличивается период колебания конструкции и в сейсмических зонах иногда необходимо предусматривать дополнительные компенсирующие механизмы. Например вертикальная связь закрепляющая пролетное строение в проектном положении при динамических колебаниях во время землетрясения.



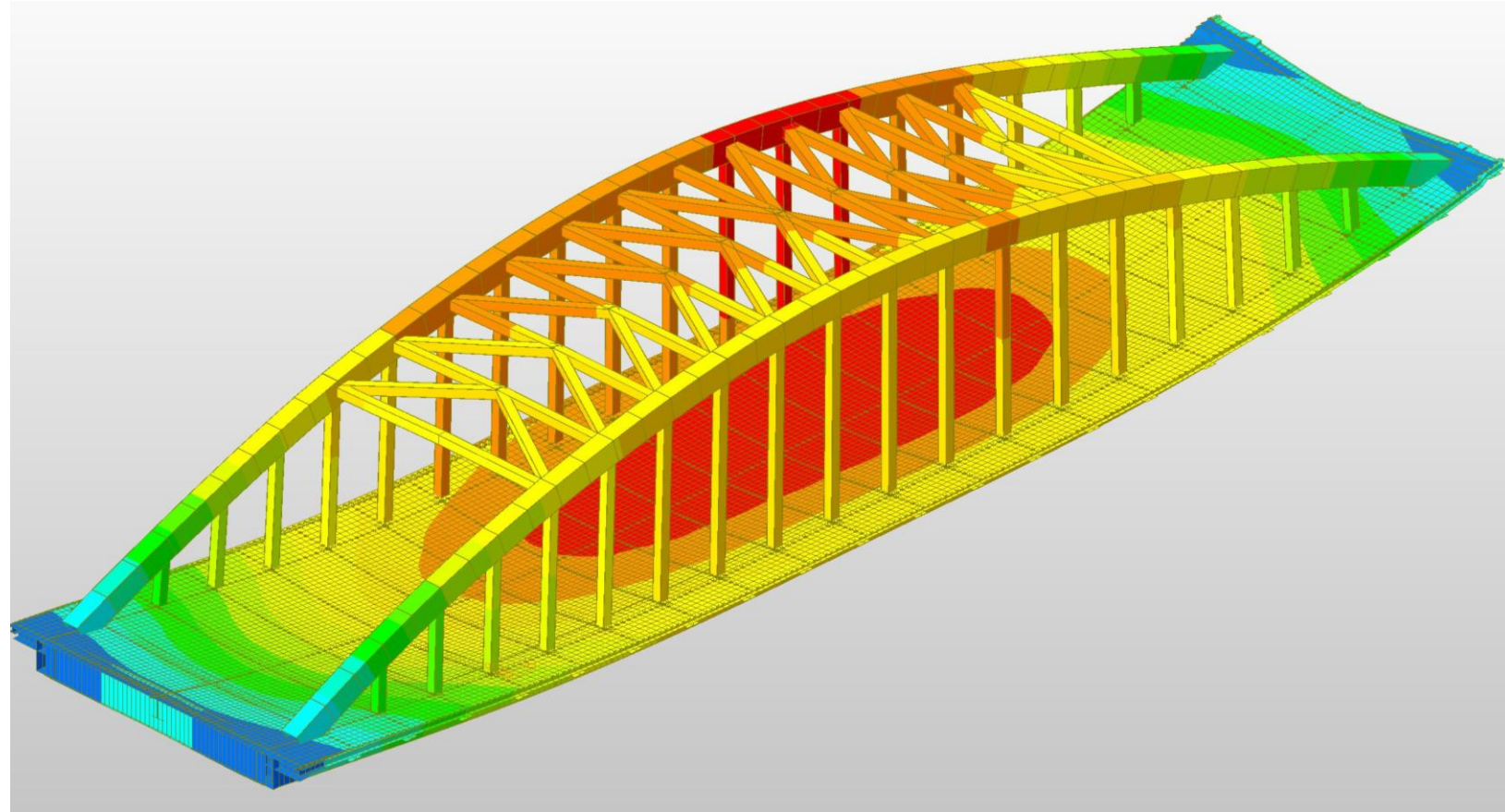
# 4. Рациональные схемы пешеходных пролетных строений

Как и в стали , так и в алюминии основными рациональными схемами, в частности для пешеходных мостов, являются арочные пролетные строения либо стремящиеся к такому типу конструкции.





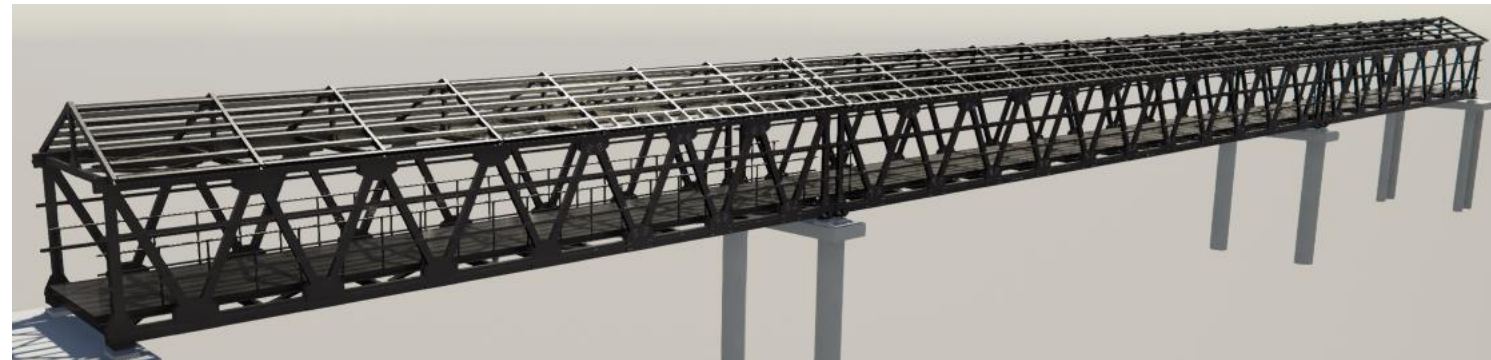
# 4. Рациональные схемы пешеходных пролетных строений



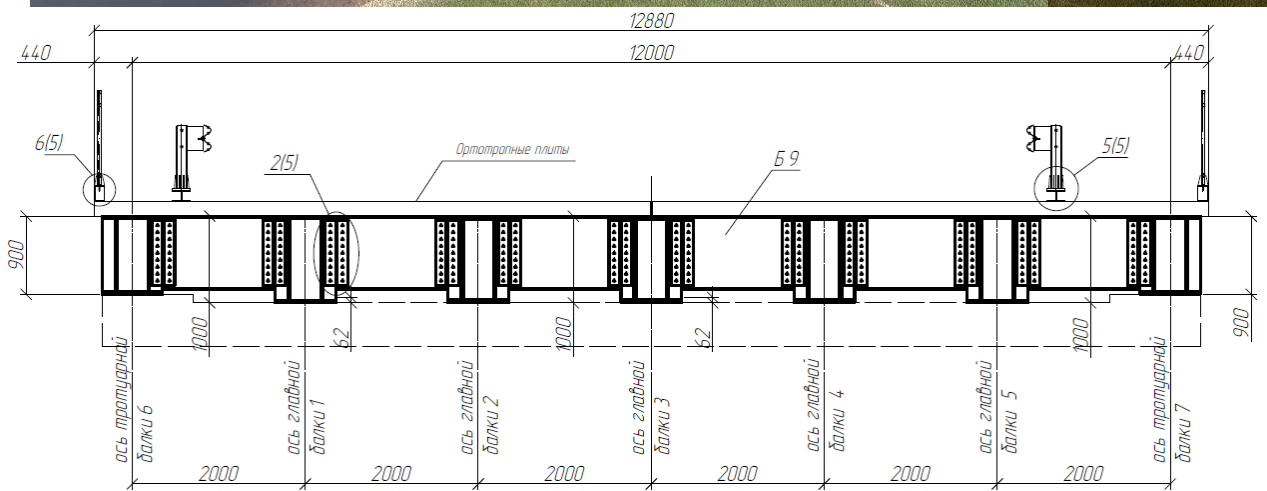
# 4. Рациональные схемы пешеходных пролетных строений



В случаях когда нет возможности, по разным причинам, выделить крытую пешеходную зону внутри пролетного строения применяют пространственные фермы с параллельными поясами.



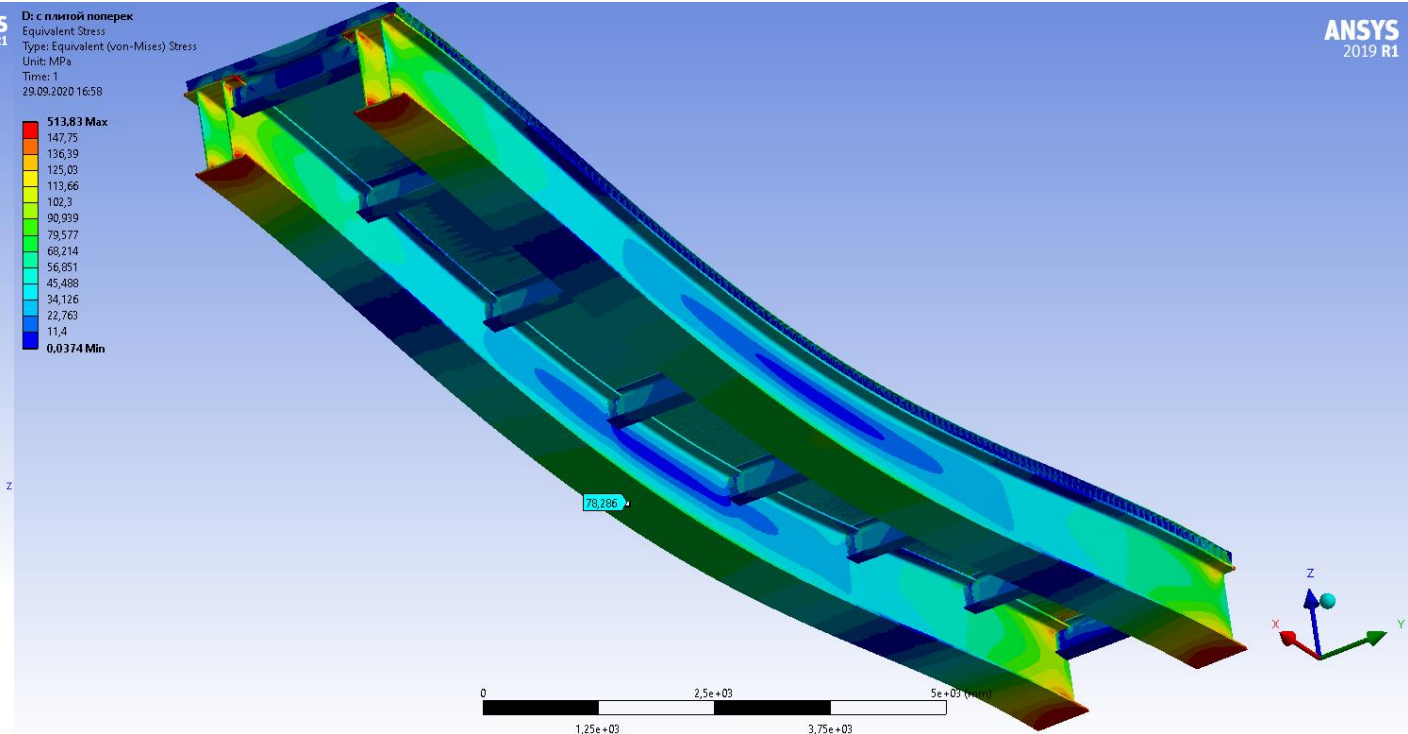
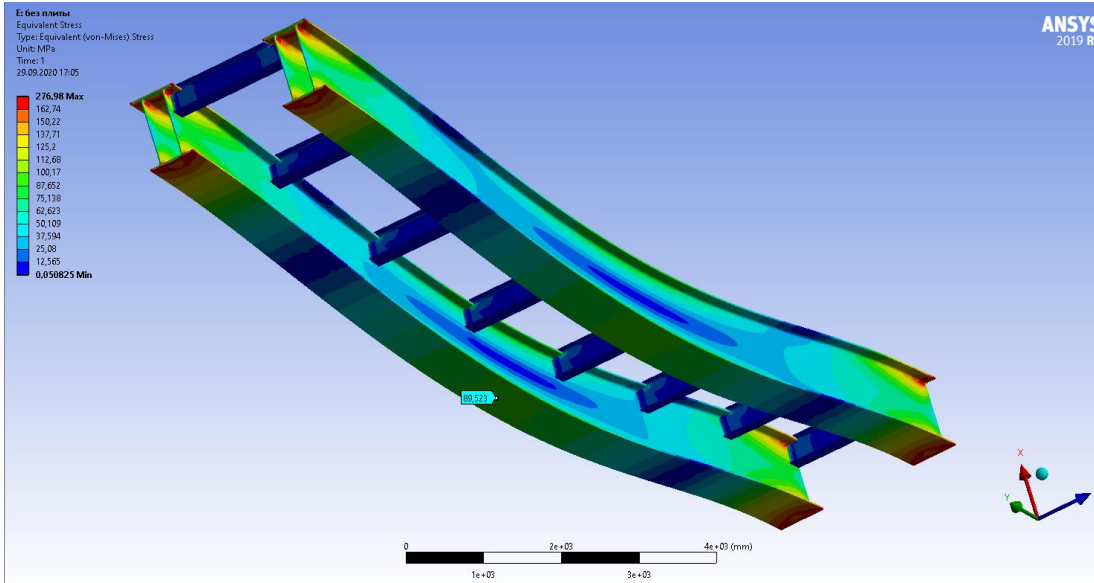
# 5. Рациональные схемы автомобильных пролетных строений



Наиболее оптимальными пролетными строениями автомобильных мостов по опыту ПИ2 являются балочные схемы. Как правило мосты имеют ограничения и сверху и снизу, поэтому чем тоньше пролетное строение тем более оно рационально.

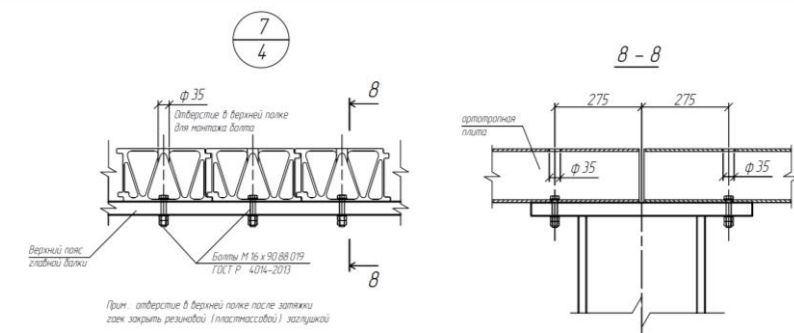
# 5. Рациональные схемы автомобильных пролетных строений

В случае с балочной схемой пролетного строения существует возможность объединения работы несущих балок и ортотропных плит дорожного покрытия в одну конструкцию:



Вариант расчетной схемы с ортотропной плитой характеризуется уменьшенными напряжениями в несущих балках, так как при совместной работе плит и балок – плиты увеличили общий приведенный момент инерции общего сечения.

В арочных конструкциях включить в работу ортотропные плиты нет возможности.



# Спасибо за внимание!

Все презентационные материалы подготовлены в уже рабочем прототипе будущей программы, по запросу готовы предоставить прототип.



Mikhail.Dubko@pi2.ru



+7(495)-644-02-00 доб. 1664



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
**ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ №2**

2020