

Окунев Сергей Владимирович, магистрант

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Санкт-Петербург

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭСТАКАД ПОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Аннотация: в статье рассматривается напряженно-деформированное состояние железобетонной эстакады под технологические трубопроводы. Все расчёты выполнены методом конечных элементов в программном комплексе SCAD Office.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, эстакада под технологические трубопроводы

Annotation: this article examines the stress-strain state of a reinforced concrete overpass for process pipelines. All calculations were performed using the finite element method in the SCAD Office software package.

Keywords: stress-strain state, overpass for technological pipelines

• Описание расчетной схемы

Расчётная схема выполнена на базе конструктивного решения эстакады под технологические трубопроводы Московского ЦНИИПромзданий (Серия 3.015-16.94) [4]. Выбран вариант одноярусной одностоечной железобетонной эстакады, состоящей из следующих сборных конструктивных элементов:

- Промежуточные опоры выполнены из железобетонных колонн размерами сечения 400х400 мм высотой 7000 мм из бетона марки В30. Армирование принято по альбому.

- Концевые анкерные опоры состоят из двух колонн аналогичной конструкции устанавливаемых на расстоянии 6 м с двумя раскосами из металлического проката, образующих связевую вставку.
- Пролётные строения эстакады выполнены из двух железобетонных балок пролетом 12 м двутаврового сечения марки «1БСП12-4АШВ-Н» [5] из бетона марки В35.
- Железобетонные вставки размерами сечения 250х500 мм пролетом 6 м выполнены из бетона марки В15, устанавливаемые между крайними опорами температурных блоков.
- Железобетонные траверсы марки длиной 3 м размерами сечения 250х290(н) из бетона марки В15 закрепляются сваркой к закладным изделиям на балках пролётных строений с шагом 3000 мм.

В качестве технологических трубопроводов в схеме предусмотрены две стальные трубы $\text{Ø}530 \times 10,0$ мм. Трубопроводы оснащены П-образными компенсаторами, размещенными между температурными блоками эстакады и неподвижными опорами, закрепленными на траверсах смежных с центральной опорой температурного блока.

Схема эстакады представлена на рис.1.

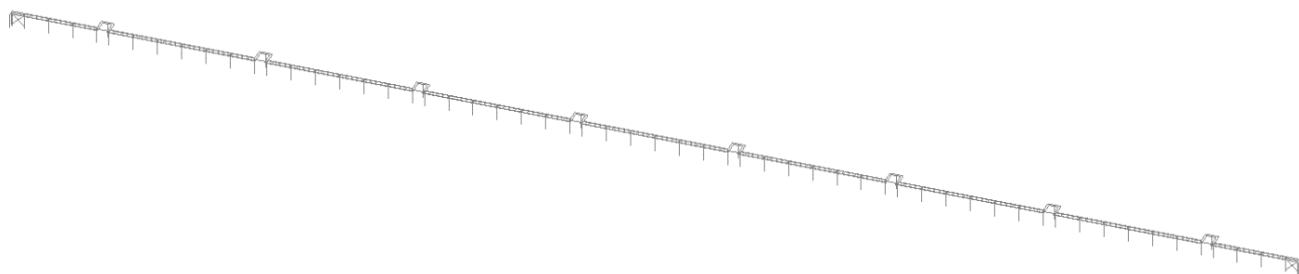


Рис.1. Схема эстакады

Принятая конструктивная схема эстакады, а также коэффициенты расчетной длины опор соответствует требованиям [1], [2], [3].

• Расчетные нагрузки

Для расчета приняты следующие нагрузки:

- Собственный вес несущих конструкций и двух трубопроводов.
- Распределённая вертикальная нагрузка на траверсы величиной в 0,8 т/м догружает эстакаду до расчетных нагрузок по альбому и представляет собой вес трубопроводов и кабелей, сверх двух трубопроводов, предусмотренных в схеме.
- Температурные нагрузки на трубопроводы +75 °С и +50 °С соответственно.
- Температурные нагрузки на пролётные строения +25 °С/-25 °С. В РСУ приняты как взаимоисключающие.
- Распределенные горизонтальные нагрузки на трубопроводы (статическая составляющая ветровой нагрузки) +0,06/-0,06 т/м. В РСУ приняты как взаимоисключающие.

Расчетные сочетания усилий представлены на рис.2.

Расчетные сочетания усилий и перемещений

	Активное нагружение	Активное нагружение в РСР	Наименование	Тип нагружения	Вид нагрузки	Загружения				Коэф. надежности	Доля длительности	K ₁	K
						Знакопременные	Объединения	Звзаимоисключени	Сопутствия				
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Собств	Постоянные на	Вес бетонных (<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Распр на траверсы	Постоянные на	Вес металличе	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Темп трубы +75/50	Длительные на	Температурные	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0
4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Темп балки +25	Длительные на	Температурные	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Темп балки -25	Длительные на	Температурные	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ветер Ю	Кратковременн	Ветровые нагр	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0
7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ветер С	Кратковременн	Ветровые нагр	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0

Рис.2. Расчетные сочетания усилий

• Упрощения, принятые в расчетной схеме

В расчётной схеме приняты следующие основные упрощения:

- Все опоры представлены в схеме жёстко заземленными на уровне земли.
- В расчётах не учитывается пульсационная составляющая ветровой нагрузки.
- Пространственно-стержневая модель не учитывает эксцентриситеты приложения температурных усилий от трубопроводов и реакций опоры, прикладываемых к верхним/нижним полкам балок пролетных строений и траверс соответственно, определяющие дополнительные изгибающие моменты в балках, а также крутящие моменты возникающие на траверсах.
- В схеме не учтены силы трения в скользящих опорах.
- В расчетной модели также не учтены усилия, определяемые избыточным давлением транспортируемой среды в трубопроводах эстакады.
- **Напряженно-деформированное состояние эстакады и её элементов**

Усилия в элементах эстакады, определяющие напряженно-деформированное состояние (далее - НДС) последней, обусловленные заданными в расчетной модели нагрузками, будут приведены в порядке убывания значений потенциальной энергии в соответствии с результатами расчета (Рис.3).

Потенциальная энергия и суммарные нагрузки

Загрузка	Козф. надежности	Доля длительности	Потенциальная энергия Т*м	Суммарные внешние нагрузки					
				X Т	Y Т	Z Т	U _x Т*м	U _y Т*м	
1	L1 - "Собств"	1	1	0,44	0	0	856,2	0	-9,84
2	L2 - "Распр на траверсы"	1	1	0,12	0	0	321,6	0	0
3	L3 - "Темп трубы +75/50"	1	1	145,57	0	0	0	0	0
4	L4 - "Темп балки +25"	1	1	13,64	0	0	0	0	0
5	L5 - "Темп балки -25"	1	1	13,64	0	0	0	0	0
6	L6 - "Ветер Ю"	1	1	0,79	0	-74,81	0	0	0
7	L7 - "Ветер С"	1	1	0,79	0	74,81	0	0	0

Рис.3. Значения потенциальной энергии системы по нагрузкам

Усилия, определяющие НДС эстакады в порядке убывания величины потенциальной энергии:

- Температурные усилия в трубопроводах, вызываемые расчётным перепадом температуры, аккумулируют 90,6% потенциальной энергии в упругих деформациях системы. Данная нагрузка определяет изгибающие моменты на опорах в плоскости эстакады, продольные усилия и дополнительные изгибающие моменты в балках пролетных строений, крутящие моменты в траверсах. Ввиду того, что жесткость промежуточных опор в плоскости эстакады по сравнению с концевыми анкерными ничтожно мала, значения по модулю соответствующих изгибающих моментов на промежуточных опорах по направлению от центра эстакады к концам линейно возрастают, достигая максимального значения на концевых анкерных опорах, для восприятия которых последние и предназначены.
- Температурные усилия в пролётных строениях (балках), определяемые расчётным перепадом температуры, запасают 8,5% потенциальной энергии в упругих деформациях элементов эстакады также в значительной степени определяют её НДС и не могут быть игнорированы при расчётах. Тут следует отметить, что даже незначительное расчётное значение температурного перепада, связанное с расчетной температурой наружного воздуха, вследствие большой площади поперечного сечения балок определяет температурные усилия, вызывающие большие моменты в плоскости эстакады в промежуточных опорах, чем аналогичные усилия в трубопроводах. При этом, данные усилия локализованы в границах температурного блока, имеют противоположные знаки относительно центральной опоры. Температурная нагрузка на пролетные строения создает дополнительные знакопеременные продольные усилия в балках пролетных строений, изгибающие моменты в опорах в плоскости эстакады.

- Статическая составляющая ветровой нагрузки, приложенная к трубопроводам, обеспечивает сложное НДС опор и пролетных строений в виде внецентренного сжатия и косоугольного изгиба соответственно.
- Вертикальная нагрузка на траверсы, как и собственный вес конструкций, приводят к возникновению сжимающих усилий в сечениях опор, изгибающих моментов в балках пролетных строений и на траверсах.

• **Выводы по результатам расчета**

По результатам расчетов можно сделать следующие основные выводы:

- При наличии в составе железобетонных эстакад под технологические трубопроводы трубопроводов, транспортирующих теплоносители или какие-либо нагретые продукты, НДС несущих конструкций эстакад определяется преимущественно температурными усилиями возникающими в данных трубопроводах. При этом, значения изгибающих моментов на опорах в плоскости эстакады, возникающих вследствие действия температурных усилий в трубопроводах эстакады, линейно возрастают от нуля до максимальных значений по модулю по направлению от центра эстакады к концевым анкерным опорам.
- Следующими по значимости для НДС несущих элементов эстакад являются температурные усилия в пролетных строениях эстакад, действие которых ограничивается пределами одного температурного блока.
- Все остальные нагрузки имеют кратно, либо на порядки меньшие значения при расчетах армирования и сечений конструктивных элементов эстакады.

Список литературы

- СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85 (с Изменениями №1, №2, №3, №4, №5). Введ. 2013-01-01. - М.: ФГБУ "РСТ", 2025.

- СНиП 2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий. Введ. 1987-01-01. - М.: ФГУП "ЦПП", 2006.
- Пособие по проектированию отдельно стоящих опор и эстакад под технологические трубопроводы (к СНиП 2.09.03-85). Введ. 1986-01-15. - М.: Стройиздат, 1989.
- Серия 3.015-16.94 Эстакады одноярусные под технологические трубопроводы. Введ. 1995-01-01. - М.: ГП ЦПП, 1995.
- Серия 1.462.1-1/88 Балки железобетонные предварительно напряженные пролетом 12 м для покрытий зданий с плоской и скатной кровлей. Введ. 1989-09-01. - М.: ГП ЦПП, 1989.