

ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭСТАКАД ПОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Аннотация: в статье рассматриваются возможные сценарии прогрессирующего обрушения железобетонных эстакад под технологические трубопроводы. Все расчёты выполнены методом конечных элементов в программном комплексе SCAD Office.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, эстакада под технологические трубопроводы

Annotation: this article examines possible scenarios for the progressive collapse of a reinforced concrete overpass for process pipelines. All calculations were performed using the finite element method in the SCAD Office software package.

Keywords: progressive collapse, overpass for technological pipelines

• Введение

В соответствии с действующей нормативной документацией [1], [2] эстакады под технологические трубопроводы, находящиеся в составе опасных промышленных объектов, следует относить к классам КС-2 или КС-3, а следовательно данные сооружения должны быть устойчивы к прогрессирующему (лавинообразному) обрушению при локальных разрушениях вследствие особых воздействий. Требование следует выполнять при всех видах строительства: новое строительство, реконструкция, капитальный ремонт, техническое перевооружение, осуществляемое одновременно с реконструкцией [2].

• Расчетная схема

Для расчетов устойчивости к прогрессирующему обрушению использована схема, основанная на конструктивных решениях для одноярусной одностоечной серийной ж/б эстакады типа «Шж» [3].

Конструктивные решения с особенностями напряженно-деформированного состояния подробно описаны в другой статье автора [4].

Схема эстакады представлена на рис.1.



Рис.1. Схема эстакады

- **Варианты локальных разрушений, принятые для расчетов прогрессирующего обрушения эстакады**

В качестве несущих элементов конструкции эстакады, вследствие разрушения которых оценивалась вероятность возникновения процесса **ПО**, рассмотрены несколько вариантов:

- Вариант №1: разрушение промежуточной опоры, сопровождающееся разрушением смежных пролетных строений, либо пролетного строения в температурном блоке в центральной части эстакады.
- Вариант №2: разрушение промежуточной опоры, сопровождающееся разрушением смежных пролетных строений, либо пролетного строения температурного блока смежного с концевым.

- Вариант №3: разрушение промежуточной опоры, сопровождающееся разрушением смежных пролетных строений, либо пролетного строения в концевом температурном блоке.
- Вариант №4: разрушение анкерной концевой опоры эстакады.

- **Выводы по результатам расчетов**

В соответствии с результатами выполнения расчётов по указанным выше вариантам начальных локальных разрушений вследствие особых воздействий с использованием модуля «Прогрессирующее обрушение» и принятым коэффициентом динамичности значением в 2,0 можно сделать следующие основные выводы:

- По результатам расчетов по Варианту №1 (при разрушении промежуточной опоры, либо пролетного строения в температурном блоке в центральной части эстакады) наблюдается перераспределение вертикальных и горизонтальных усилий на смежные опоры эстакады, продольных усилий - через смежные неподвижные опоры трубопроводов на опоры эстакады, на которых они установлены, и далее на все опоры соответствующего температурного блока. При этом, значения критического фактора k_{max} превышают значение 1,0 только в случае разрушения самой нагруженной опоры температурного блока (крайней в направлении от центра эстакады) достигая значения 1,07 (см. рис.2) на смежной опоре данного температурного блока. Последнее обстоятельство обусловлено дополнительными моментами, возникающими в опорах из плоскости эстакады вследствие концентрации горизонтальных усилий при деформации компенсаторов на трубопроводах и принятой расчётной схемой, в которой предполагается, что скользящие опоры на трубопроводах несмежные с компенсаторами имеют боковые ограничители, ограничивающие перемещение трубопроводов перпендикулярно оси эстакады. В целом, вероятность возникновения процесса прогрессирующего обрушения несущих конструкций эстакады по данному варианту можно оценить как маловероятную.

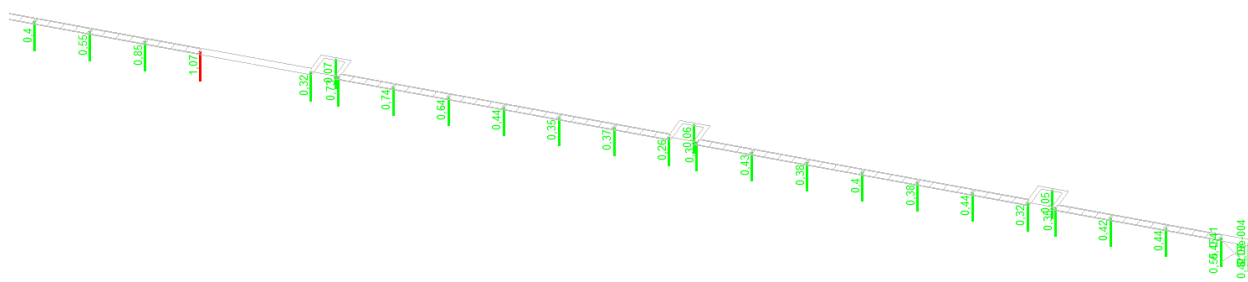


Рис.2.Результат расчета по Варианту №1

- Результаты расчетов по Варианту №2 (при разрушении промежуточной опоры, либо пролетного строения в температурном блоке смежном с концевым) в целом соответствуют результатам, полученным при расчетах по Варианту 1 (см. рис.3), но с более значительными описанными выше моментами из плоскости эстакады (см. рис.4), которые распределяются на смежные опоры. Вероятность начала процесса прогрессирующего обрушения несущих конструкций эстакады по данному варианту является также незначительной.

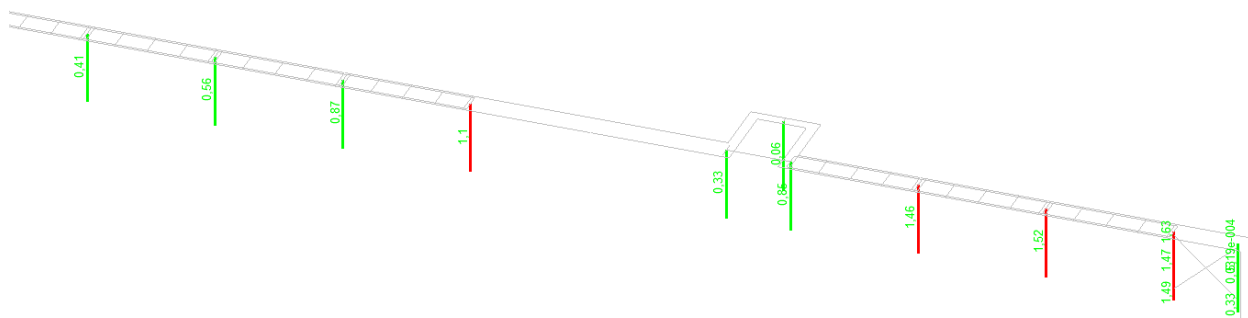


Рис.3.Результат расчета по Варианту №2

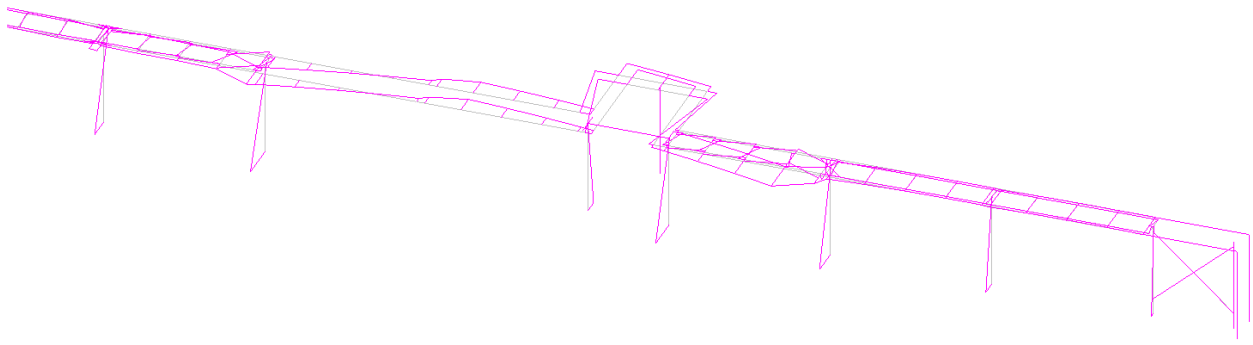


Рис.4. Моменты из плоскости эстакады по Варианту №2

- Результаты расчетов по Варианту №3 (при разрушении промежуточной опоры, либо пролетного строения в конечном температурном блоке) аналогичны результатам, полученным при расчетах по Вариантам 1 и 2. Результат расчета прогрессирующего обрушения при разрушении первой по направлению от центра опоры конечного температурного блока приведен на рис.5. При этом, значения моментов из плоскости эстакады, которые в сумме с моментами на опорах в плоскости эстакады, вызванными продольными температурными усилиями в трубопроводах, порождают крутящие усилия на последующих опорах и вполне способны привести к разрушению последних и дальнейшему прогрессирующему обрушению несущих конструкций уже в обратном направлении по Варианту 4 (см. ниже). Вероятность начала процесса прогрессирующего обрушения несущих конструкций эстакады по данному варианту может быть оценена как высокая.

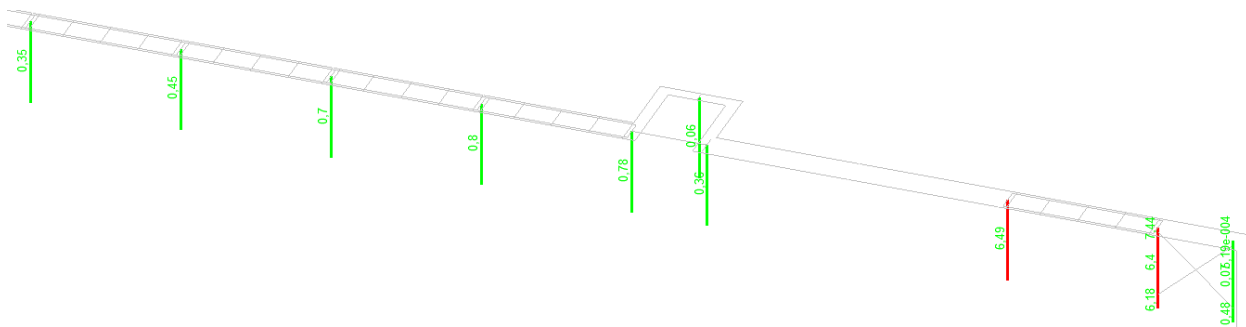


Рис.5. Результат расчета по Варианту №3

- Расчет по Варианту №4, рассматривающий разрушение анкерной концевой опоры эстакады, являющейся наиболее нагруженной в эстакаде, показывает высокую вероятность инициации процесса прогрессирующего обрушения в виде последовательной потери устойчивости промежуточных опор в направлении от поврежденной анкерной опоры к центру эстакады, что продемонстрировано на рис.6.

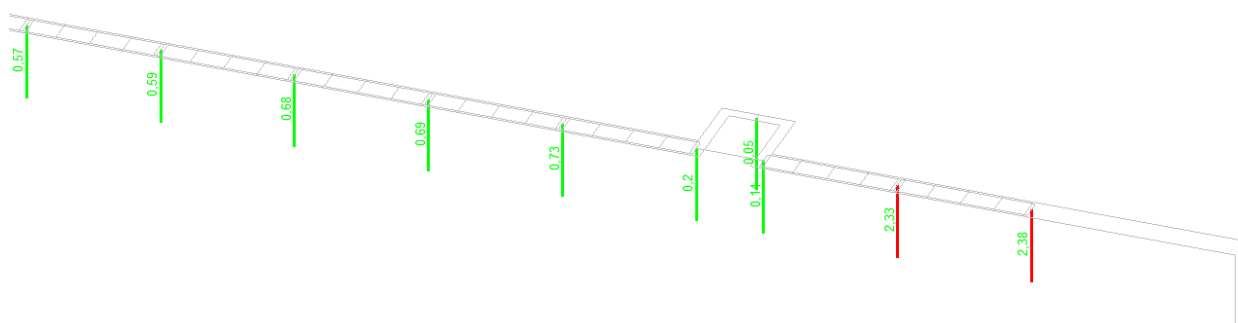


Рис.6. Результат расчета по Варианту №4

• Заключение

В результате рассмотренных выше исчерпывающих вариантов локального разрушения основных несущих элементов эстакад выявлено, что основную роль в процессе прогрессирующего обрушения эстакад выполняют горизонтальные продольные температурные усилия от трубопроводов. Так как трубопроводы являются неразрывными элементами в составе эстакады (без деления на температурные блоки и т.п.), температурные усилия от последних передаются на всю протяженность сооружения. К особенностям совместной работы конструкции, образуемой трубопроводами и эстакадой, следует отнести то, что система неподвижных опор и компенсаторов, предусматриваемая на трубопроводах гарантирует упругие деформации трубопроводов, но вследствие больших температурных усилий и малой жесткости промежуточных опор в плоскости эстакады последние неспособны их воспринимать. В связи с чем, в направлении от центра к концам эстакады температурные усилия складываются концентрируясь на концевых анкерных опорах, для восприятия которых они и предназначены. Поэтому

концевые анкерные опоры являются наиболее нагруженным несущим элементом в конструкции эстакады, разрушение которого с высокой вероятностью вызывает прогрессирующее обрушение смежных промежуточных опор, не имеющих достаточной жесткости, даже несмотря на то, что данная внезапная дополнительная нагрузка между ними распределяется.

Список литературы

1. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения (с Изменением №1). Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2023.
2. СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения (с Изменениями №1, №2, №3, №4). Введ. 2019-01-06. - М.: М.: ФГБУ "РСТ", 2024.
3. Серия 3.015-16.94 Эстакады одноярусные под технологические трубопроводы. Введ. 1995-01-01. - М.: ГП ЦПП, 1995.
4. С.В. Окунев Особенности напряженно-деформированного состояния железобетонных эстакад под технологические трубопроводы// НЕФТЬ И ГАЗ: ОПЫТ И ИННОВАЦИИ Т9.№6.