

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ

STRUCTURAL MECHANICS AND ANALYSIS OF CONSTRUCTIONS

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ / SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Издается с 1 января 1959 г.
Выходит один раз в два месяца

Since the 1st January 1959
Published once in two months

Учредитель: АО «НИЦ «Строительство»

JSC «NITS «STROITELSTVO»

Москва. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

Moscow. Koucherenko TSNIISK

1 (288)
2020

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
ВЕДЯКОВ И.И. проф., д.т.н.

Chief Editor
VEDYAKOV I.I.
Doctor of Technical Sciences, Prof.

АНДРЕЕВ В.И.
акад. РААСН, проф., д.т.н.

БУСЛОВ А.С. проф., д.т.н.

ГОРОДЕЦКИЙ А.С.
акад. РААСН, проф., д.т.н.

ГОТМАН А.Л. проф., д.т.н.

ЕРЕМЕЕВ П.Г. проф., д.т.н.

ИГНАТЬЕВ В.А. проф., д.т.н.

ИЛЬЧИЧЕВ В.А. акад. РААСН,
проф., д.т.н.

КАРПЕНКО Н.И.
акад. РААСН, проф., д.т.н.

КОЛЧУНОВ В.И.
акад. РААСН, проф., д.т.н.

КОСИЦЫН С.Б. проф., д.т.н.

КУРБАЦКИЙ Е.Н. проф., д.т.н.

ЛЯХОВИЧ Л.С.
акад. РААСН, проф., д.т.н.

МОНДРУС В.Л.
чл.-корр. РААСН, проф., д.т.н.

НАЗАРОВ Ю.П. проф., д.т.н.

НЕМЧИНОВ Ю.И. проф., д.т.н.

ОБОЗОВ В.И. проф., д.т.н.

ОДЕССКИЙ П.Д. проф., д.т.н.

ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ К.П.
(отв. секретарь) д.т.н., с.н.с.

РАЙЗЕР В.Д. проф., д.т.н.

ТРАВУШ В.И. акад. РААСН, проф., д.т.н.

ФЕДОРОВ В.С. акад. РААСН, проф., д.т.н.

Томас БОК иностранный чл. РААСН,
проф., д.т.н.

Редактор выпуска *Пятикостровский К.П.*
Корректор *Чугреева М.С.*
Компьютерная верстка *Лукьянов М.А.*

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-63489 от 10 ноября 2015 г.

Включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Индексируется в РИНЦ

Адрес редакции:
109428, Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6, стр. 1
Тел.: 8-499-170-10-81; 8-499-174-79-93
E-mail: stroydex@list.ru, stroydexrs@gmail.com
www.stroy-mex.narod.ru

Подписной индекс в РОСПЕЧАТИ 18317 / 36188

Подписка в научной электронной библиотеке
http://elibrary.ru/title_profile.asp?id=26727

Подписано в печать 13.02.2020. Формат 70×108 1/16
Бумага офсетная. Офсетная печать. Тираж 500 экз.
Заказ № 453-20

Отпечатано в ООО «Тверской Печатный Двор»
170518, Тверская обл, Калининский р-н, с. Никольское, д. 26

Перепечатка материалов журнала
«Строительная механика и расчет сооружений»
допускается только с письменного разрешения редакции.
При цитировании ссылка обязательна

Представленные заказчиками готовые формы рекламных материалов не подвергаются редакционной правке и печатаются в оригинале.

Л.С. САБИТОВ^{1,2}, канд. техн. наук, Ю.Г. КОНОПЛЕВ¹, доктор физ.-мат. наук,
Д.В. БЕРЕЖНОЙ¹, доктор физ.-мат. наук

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет,

² Казанский государственный энергетический университет

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С ГРУНТОМ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ ОПОРЫ НА ЕЕ ПРОЧНОСТЬ НА ЭТАПАХ ЕЕ ВОЗВЕДЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

В работе проводится исследование влияния геометрических, механических и структурных параметров усиления стыковочных узлов на напряженно-деформированное состояние конструкции опор воздушных линий электропередач с учетом взаимодействия забетонированного основания опор с окружающим их грунтом. Стальные опоры воздушных линий электропередач, представляющие собой тонкостенные стержни-оболочки закрытого профиля, моделируются конечными элементами оболочки типа Тимошенко. Бетонное основание опоры и окружающий его грунт дискретизируются трехмерными конечными элементами сплошной среды с соответствующими физико-механическими свойствами. Исследуется влияние вариантов кинематических условий закрепления опоры и учет контактного взаимодействия бетонной опоры и грунта на вычисление НДС конструкции. Реализована методика расчета конструкций стальных опор и их стыковочных узлов в рамках программного комплекса численного моделирования ANSYS 14.5. На основе предложенной методики проведен вычислительный эксперимент, в ходе которого проведен анализ напряженно-деформированного состояния укрепленных в грунте опор воздушных линий электропередач для различных видов усиления стыковочных узлов.

Ключевые слова: высотные сооружения, тонкостенный стержень замкнутого профиля, метод конечных элементов, оболочка типа Тимошенко, контактное взаимодействие.

Общие положения

При расчете высотных сооружений, представляющих собой стальные стержни-оболочки замкнутого профиля, наиболее сложным представляется определение напряженно-деформированного состояния (НДС) подобных конструкций и их узловых соединений. В современной литературе описываются различные подходы вычисления НДС в стержнях-оболочках, основанные как на полной дискретизации конструкции (например, в рамках конечно-элементной методики) [9], так и на частных расчетных методиках оценки НДС конструкций и их узловых соединений [11, 18]. Однако для расчета узловых соединений, особенно в случае их локального усиления ребрами жесткости, «юбкой» и т.д., более предпочтительным будет конечно-элементный подход на основе конечных элементов оболочек типа Тимошенко при достаточно высокой степени дискретизации конструкции.

Наиболее часто рассчитываются конструкции стальных опор воздушных линий электропередач (ВЛ), находящихся под действием широкого класса внешних статических и динамических воздействий [13, 21]. Обычно основание опоры бетонируется, а бетонный массив размещается в грунте. В некоторых случаях расчета опоры на прочность и жесткость возникает необходимость учета взаимодействия конструкции бетонных опор с грунтом. В этом случае бетонное основание и окружающий его грунт моделируются трехмерными конечными элементами сплошной среды, а для описания их взаимодействия используются специальные контактные конечные элементы.

1. Теоретические основы расчета стальной опоры воздушных линий электропередач

Предложена работоспособная и адекватная численная модель совместной работы стальной опоры воздушных линий электропередач, вмонтированной в бетонное основание, и подстилающего грунта на основе конечно-элементного подхода к дискретизации конструкции. Сходимость численной модели поможет оценить и вывести некоторые расчетные характеристики, а также даст возможность формировать более сложные модели взаимодействия вмонтированной в бетон опоры с грунтом для применения в различных условиях эксплуатации конструкций. Известно множество моделей взаимодействия деформируемых элементов трехмерных конструкций и грунта. Можно отметить некоторые работы авторов, в которых

на основе конечно-элементных моделей реализуются процессы деформирования конструкций в рамках контактного взаимодействия элементов конструкции между собой и с окружающим их грунтом [16–18]. Существуют ограничения, которые имеются при применении программных комплексов численного моделирования: ANSYS, Nastran, ABAQUS, Midas, ЛИРА-САПР и другие, влияющие на результаты расчета, поэтому была сформирована модель в программе ANSYS 14.5 [19].

Для моделирования стальной опоры, трубы нижнего основания, фланца, ребер усиления и «юбки» в программе ANSYS 14.5 используется четырехконечный элемент оболочки типа Shell181 с линейной аппроксимацией перемещений в плане элемента. В качестве неизвестных в каждом узле выбираются три компоненты вектора перемещений в декартовой глобальной системе координат и три компоненты углов поворота нормали к срединной поверхности элемента. Для моделирования бетонного блока основания опоры выбран трехмерный восьмиузловой конечный элемент сплошной среды типа Solid185 с тремя неизвестными компонентами вектора перемещений в каждом узле, причем грани такого элемента являются линейчатыми поверхностями. Для учета контактного взаимодействия бетонного блока основания и грунтового массива использовалась реализованная в комплексах численного моделирования ANSYS 14.5 методика контактного взаимодействия типа «master-slave», для реализации которой использовались два контактных элемента типа Target170 и Contact174, позволяющие в автоматическом режиме учитывать возможность контактного взаимодействия с трением.

2. Геометрическая и конечно-элементная модель стальной опоры воздушных линий электропередач

Конструкция телескопической опоры представляет собой сложную коробчатую конструкцию, включающую в себя: телескопическую опору в форме боковой поверхности усеченной пирамиды с основаниями в виде правильного восьмиугольника; соосную телескопической опоре нижнюю трубу в форме боковой поверхности призмы с основаниями в виде правильного восьмиугольника; фланец прямоугольной формы, соединяющий телескопическую опору и нижнюю трубу; ребра жесткости в основании опоры, стыкующие опору с фланцем; ребра жесткости в верхней части нижней трубы, стыкующие трубу с фланцем; «юбка» в основании опоры, элементы которой замыкают поверхность нижней части опоры,

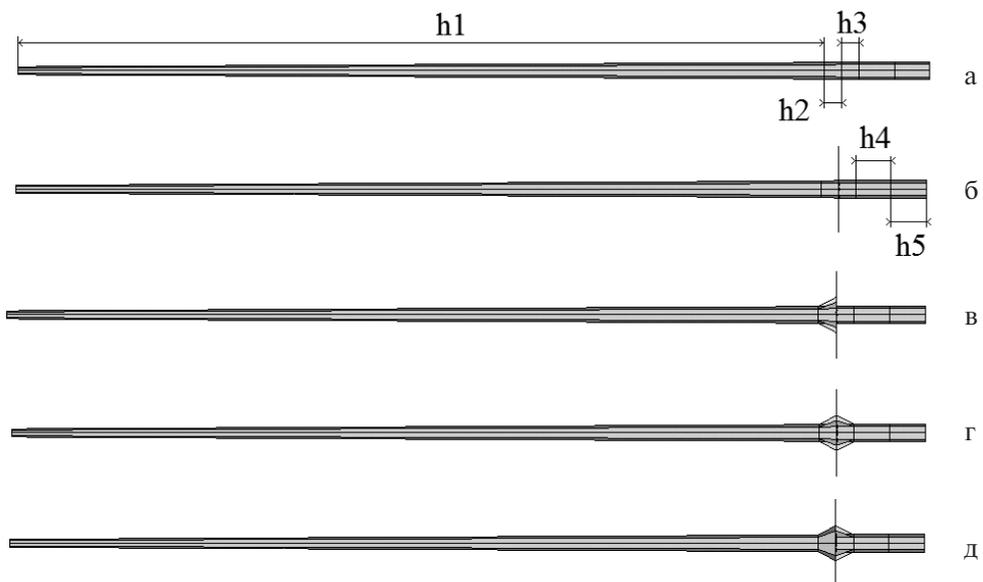


Рис. 1. Проекция элементов опоры на вертикальную плоскость: а – телескопическая опора с нижней трубой; б – добавлен фланец; в – добавлены ребра жесткости опоры; г – добавлены ребра жесткости трубы; д – добавлена «юбка»

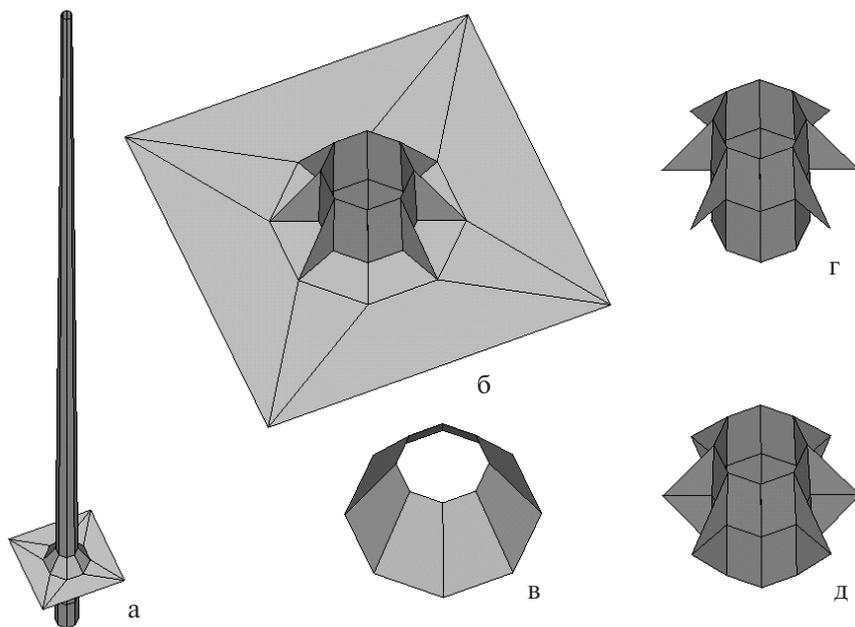


Рис. 2. Фрагменты зоны стыка опоры и нижней трубы: а – общий вид опоры с нижней трубой; б – нижняя часть опоры с ребрами жесткости и фланцем; в – «юбка»; г – нижняя часть опоры с верхней частью нижней трубы и ребра жесткости опоры; д – нижняя часть опоры с верхней частью нижней трубы и ребра жесткости опоры и трубы

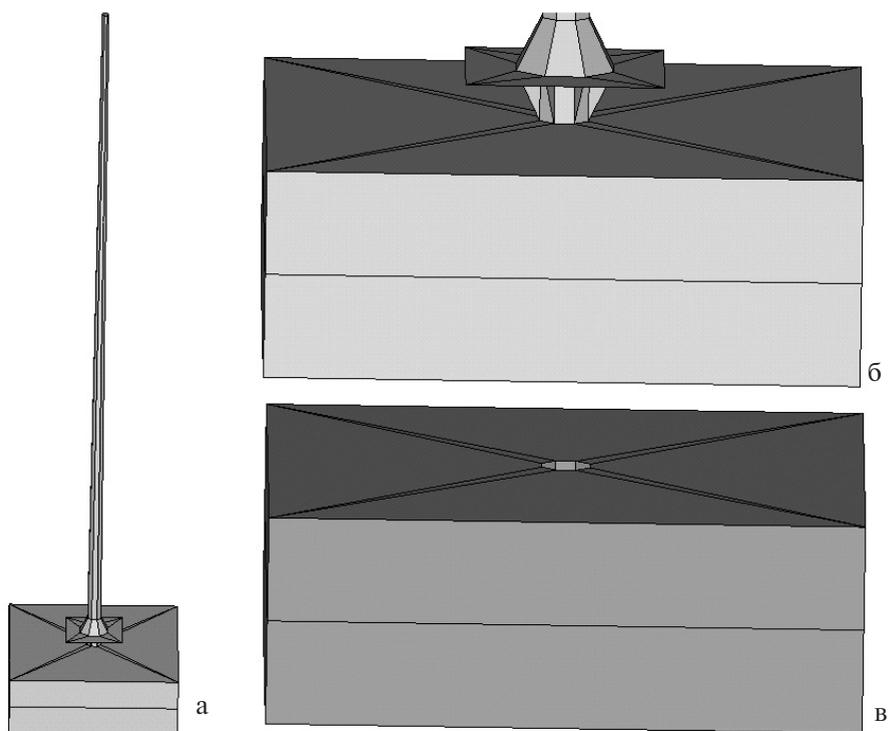


Рис. 3. Опора с забетонированным основанием и фрагменты: а – общий вид опоры с забетонированным основанием; б – фрагмент нижней части опоры с забетонированным основанием; в – бетонированное основание опоры

соответствующие ребра жесткости и фланец в замкнутые коробчатые блоки. На рисунке 1 схематично представлены проекции элементов опоры в различном сочетании с ее конструктивными подэлементами на вертикальную плоскость, где $h_1 = 6,85$ м – расстояние от макушки трубы до верхнего края ребер жесткости трубы, $h_2 = 0,15$ м – высота ребер жесткости трубы (общая высота опоры $h_1 + h_2 = 7,0$ м), $h_3 = 0,15$ м – высота ребер жесткости опоры, $h_4 = 0,30$ м – длина не заглубленной в грунт части нижней трубы, $h_5 = 0,30$ м – длина заглубленной в грунт части нижней трубы. В грунт заглублялась не сама труба, а окружающее ее забетонированное основание опоры. Величины h_4 и h_5 варьировались в процессе расчета, неизменной оставалась их сумма. Диаметр окружности, в которую был вписан правильный восьмиугольник верхушки опоры $d_1 = 0,068$ м, диаметр окружности, в которую был вписан правильный восьмиугольник верхушки опоры – $d_2 = 0,150$ м, диаметр окружности, на которой расположены максимально отдаленные от оси опоры точки ребер жесткости – $d_3 = 0,300$ м, толщина стенок опоры $t_1 = 0,003$ м, толщина фланца $t_2 = 0,02$ м, толщины стенок нижней трубы, ребер жесткости и элементов «юбки» варьировались от $t_1 = 0,003$ м и выше.

Для большей наглядности геометрического моделирования зоны стыка телескопической опоры и нижней трубы на рисунке 2 приведены некоторые фрагменты этого соединения.

Основание части нижней трубы бетонируется. На рисунке 3 приведена опора с забетонированным основанием и фрагменты этого бетонирования.

Бетонированное основание опоры представляет собой параллелепипед размерами $1,2 \times 1,2 \times 0,6$ м, где высота этого параллелепипеда $h_4 + h_5$ (рис. 1), нижняя часть бетонного основания может быть заглублена в грунт, верхняя – нет.

Базовая конечно-элементная сетка, используемая при расчетах, и ее фрагменты приведены на рисунке 4.

3. Варианты расчета

Всего было выбрано 4 варианта расчета, которые схематично приведены на рисунке 5. Все они отличаются друг от друга выбором расчетной области и условиями ее закрепления.

Для варианта расчета 1 моделируется только опора с частью нижней трубы, закрепляется нижний край трубы по нижнему краю ребер под фланцем. Для варианта расчета 2 моделируется

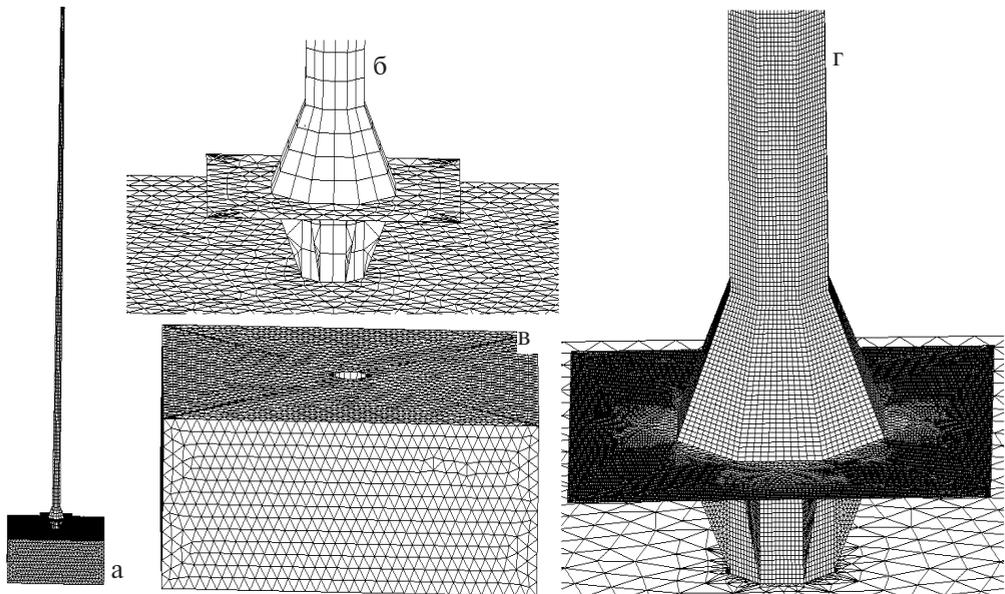


Рис. 4. Конечно-элементное разбиение опоры и бетонного основания: а – общий вид конечно-элементного разбиения для базовой дискретизации; б – фрагмент общего вида конечно-элементного разбиения для базовой дискретизации; в – дискретизация области бетонирования; г – фрагмент общего вида конечно-элементного разбиения для уточненной дискретизации опоры

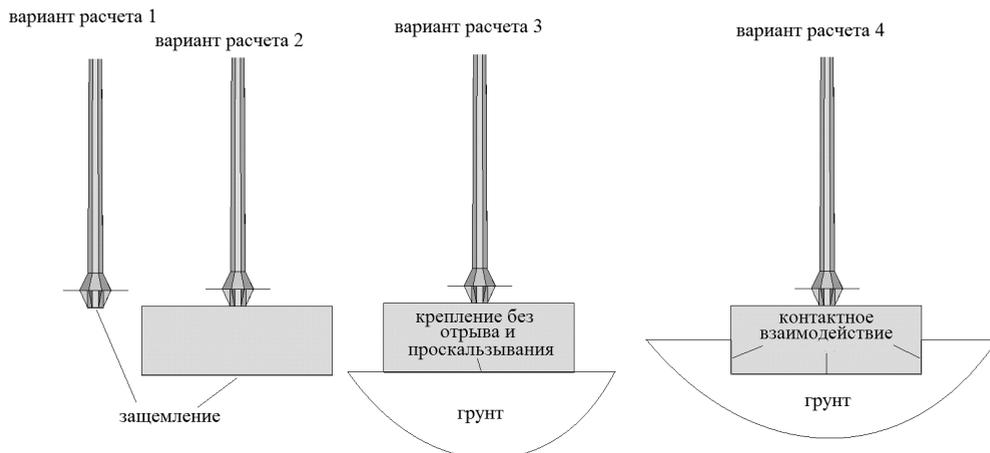


Рис. 5. Схематичное представление расчетных областей для четырех вариантов расчета

вся опора с бетонным блоком в основании, закрепление производится по нижней грани бетонного блока. Для варианта расчета 3 в расчетную область вводится грунтовый массив (размеры которого подбираются в процессе вычислительного эксперимента), нижний край бетонного основания крепится на лицевой поверхности грунта без отрыва и проскальзывания. Для варианта расчета 4 бетонное основание может быть частично или полностью заглублено в грунт, между контактирующими поверхностями бетонного основания и грунта вводятся условия контактного взаимодействия.

Для всех вариантов расчета рассматривается статическое нагружение от собственного веса, вертикальная и горизонтальная нагрузка, приложенные к верхушке опоры.

4. Результаты расчета и их анализ

Для иллюстрации полученных результатов на рисунках 6 и 7 приведены распределения интенсивности напряжений по Мизесу для варианта расчета от действия собственного веса и для варианта расчета 2 от действия горизонтальной нагрузки. Интенсивность напряжений по Мизесу вычисляется по формуле

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)}.$$

Для случая крепления опоры по нижнему краю ребер под фланцем (вариант расчета 1) собственный вес опоры вызывает сложное напряженное состояние в зоне крепления опоры, но максимальные напряжения (по Мизесу) не превышают 0,5 МПа. Наличие ребер и «юбки» в зоне крепления опоры снижают максимальные напряжения на несколько процентов и несколько повышает зону их расположения. Вертикальная нагрузка приводит к возникновению зоны максимальных напряжений около вершины опоры (на 100 кг – около 1,5 МПа). Наличие ребер и «юбки» в зоне крепления опоры практически не влияет на величину и расположение максимальных напряжений. Горизонтальная нагрузка вызывает изгиб. Напряженное состояние опоры, максимальные напряжения – в зоне крепления опоры (на 100 кг – около 1,5 МПа). Наличие ребер и «юбки» в зоне крепления опоры снижает максимальные напряжения не более чем на 1-2%, но повышает (почти на 1 метр) зону их расположения.

Для случая крепления опоры по нижней части бетонного массива (вариант расчета 2) распределение напряжений от всех видов нагрузки не меняется по сравнению с вариантом расчета 1.

Для случая крепления лежащей на грунте опоры без отрыва и проскальзывания (вариант расчета 3) распределение напряжений от собственного веса и вертикальной нагрузки не меняется, для горизонтальной нагрузки максимальное значение напряжений падает до 1,0% для песка и до 0,3% для глины.

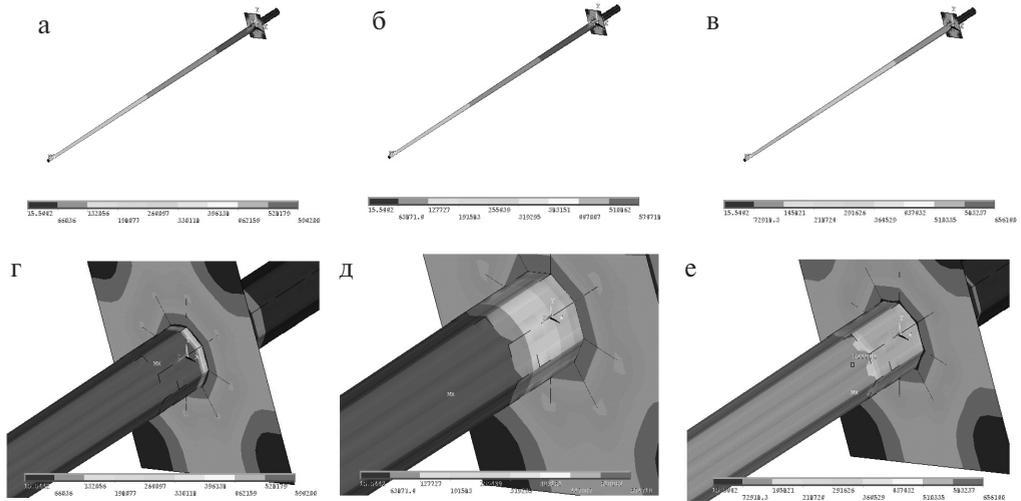


Рис. 6. Распределение интенсивности напряжений по Мизесу в опоре от собственного веса для варианта расчета 1: а – отсутствуют ребра жесткости опоры и «юбка», общий вид; б – отсутствует «юбка», общий вид; в – все усиления в наличии, общий вид; г – отсутствуют ребра жесткости опоры и «юбка», фрагмент; д – отсутствует «юбка», фрагмент; е – все усиления в наличии, фрагмент

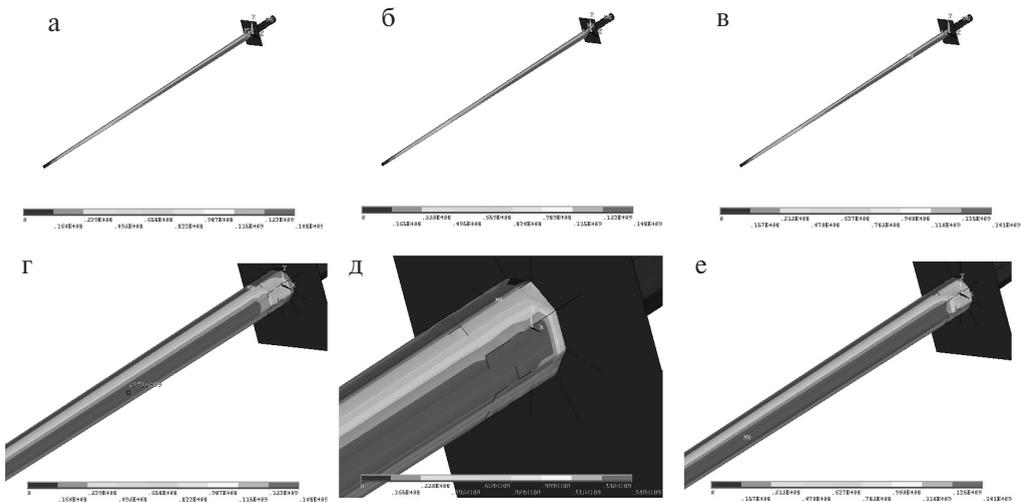


Рис. 7. Распределение интенсивности напряжений по Мизесу в опоре от горизонтальной нагрузки для варианта расчета 2: а – отсутствуют ребра жесткости опоры и «юбка», общий вид; б – отсутствует «юбка», общий вид; в – все усиления в наличии, общий вид; г – отсутствуют ребра жесткости опоры и «юбка», фрагмент; д – отсутствует «юбка», фрагмент; е – все усиления в наличии, фрагмент

Для случая контактного взаимодействия опоры и грунта (вариант расчета 4) распределение напряжений от собственного веса и вертикальной нагрузки не меняется, для горизонтальной нагрузки максимальное значение напряжений падает до 3,0% для песка и до 1,0% для глины, но результаты сильно зависят от уровня и характера внешней нагрузки.

На рисунке 8 для одного из расчетных случаев приведено типичное распределение изгибных напряжений по образующей вдоль опоры (начиная с верхушки) для горизонтальной нагрузки для вариантов крепления узла стыковки опоры с фланцем с «юбкой» и без нее.

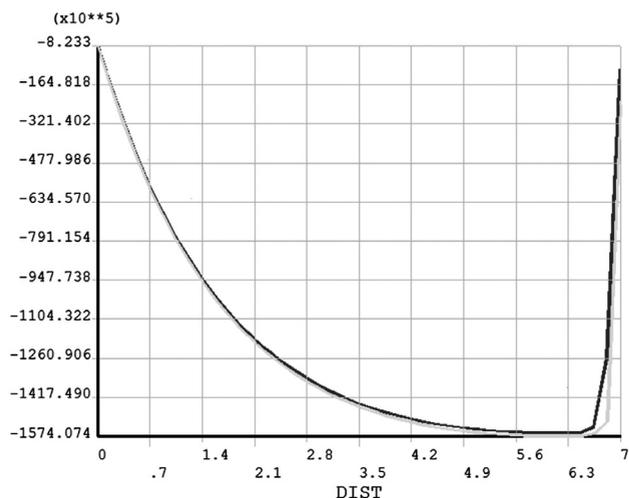


Рис. 8. Эпюра нормальных изгибающих напряжений (Па) вдоль опоры: красным цветом — при наличии «юбки»; синим цветом — без «юбки»

Как дальнейшее развитие рассматриваемого подхода можно предложить учет пластического деформирования грунта с учетом и без учета контактного взаимодействия опоры с грунтом. Для случая контактного взаимодействия (и физической нелинейности грунта) на этапах возведения опоры и ее эксплуатации важен порядок приложения нагрузки. Для одной и той же статически эквивалентной нагрузки результаты могут быть кардинально различными.

Список литературы

1. Кан С.Н., Пановко Я.Г. Элементы строительной механики тонкостенных конструкций. — М.: Гос. изд-во оборонной пром-ти, 1952. — 163 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611451 от 18.01.2013 г. «AutoRSS.01». Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Сабиров С.И. Заявка № 2012661265 от 18.12.2012 г.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617349 от 17.07.2014. «AutoRSS.02». Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Богданович А.У. Заявка № 2014614903 от 26.05.2014 г.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017662991 от 22.11.2017 «AutoRSS.03». Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Юдин В.Ю. Заявка № 2017617847 от 21.07.2017 г.
5. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Пеньковцев С.А. Выбор рационального типа поперечного сечения опор // Приволжский научный журнал. — 2014. — № 4 (32). — С. 90–94.
6. Сабитов Л.С. Напряженно-деформированное состояние слабokonичного стержня переменного сечения / Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Богданович А.У. // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2014. — №7 (90). — С. 71–79.
7. Пат. 2683424 Российской Федерация, МПК Е 04 Н 12/10 Многогранная стойка опоры воздушной линии электропередачи / Сабитов Л.С., Н.Ф. Кашапов, И.Р. Гильманшин, И.К. Киямов, А.К. Мезиков, В.Г. Васильев; от 11.01.2018. Опубл. 28.03.2019.
8. Сабитов Л.С., Ильин В.К., Ибрагимова А.В., Стрелков Ю.М. Способ защиты сталеалюминиевых проводов воздушных линий электропередачи от усталостных колебательных повреждений на выходе из поддерживающего зажима // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2017. — Т. 21. — № 5 (124). — С. 122–130.
9. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л. Определение напряженно-деформированного состояния опор по новой программе «AutoRSS.02» и сравнение результатов расчета по существующим программным комплексам // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2015. — № 2 (97). — С. 125–132.
10. Пат. РФ № 2633604, 04.12.2000. Сборно-разборный фундамент под опору. Патент России № 2633604. 2017. Бюл. № 29 / Л.С. Сабитов, И.Л. Кузнецов, Д.М. Хусаинов, С.И. Сабиров, З.Р. Ахунова, Ю.М. Стрелков
11. Сабитов Л.С. Конструкции из трубчатых элементов в энергетическом строительстве. Разработка. Исследование. Внедрение // Монография / Казань, 2016. — 234 с.
12. Справочник проектировщика (расчетно-теоретический). Т. 2 / Под ред. А.А. Уманского. — 1973. — С. 307.
13. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. — Л.: Энергия, 1979. — 312 с.
14. Sabitov L.S., Kashapov N.F., Gilmanshin I.R., Strelkov Yu.M., Khusainov D.M. Development and investigation of the stressed-deformed state of the demountable foundation for support // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 240 (2017) 012005 doi:10.1088/1757-899X/240/1/012005.
15. Bryan G.H. On the stability of elastic systems. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, mathematical and physical science. — 1889. — Vol. 6. — Pp. 199–210.

Можно отметить, что наличие «юбки» в узле крепления опоры не только несколько снижает уровень максимальных напряжений в опоре, но и разгружает сам узел.

Заключение

В случае достаточно жесткой и прочной нижней трубы и нижних ребер грунт можно не учитывать и закрепление можно реализовывать по нижнему краю ребер ниже фланца. Учет взаимодействия опоры с грунтом, особенно контактное взаимодействие, несколько снижает уровень напряжений в опоре, но результаты сильно зависят от уровня и характера внешней нагрузки. При некоторых вариантах расчета в бетоне могут возникать предельные растягивающие напряжения.

16. Бережной Д.В., Сагдатуллин М.К. Моделирование деформирования обделки тоннеля метрополитена, расположенной в грунте, с учетом контактного взаимодействия // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 15. – С. 289–293.
17. Bereznoi D.V., Balafendieva I.S., Sachenkov A.A., Sekaeva L.R. Modelling of deformation of underground tunnel lining, interacting with water-saturated soil // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 158, 012018.
18. Bereznoi D.V., Balafendieva I.S., Sachenkov A.A., Sekaeva L.R. Investigation of deformation of elements of three-dimensional reinforced concrete structures located in the soil, interacting with each other through rubber gaskets // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. – Vol. 204, 012005.
19. Редикюльцев Е.А. Численное исследование поведения изгибаемых железобетонных элементов при помощи программного комплекса ANSYS // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. – 2009. – № 2. – С. 81–84.
20. Стрелков Ю.М., Радайкин О.В., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л. Сравнительный анализ статической работы различных типов стальных опор линий электропередач на основе компьютерного моделирования системы «опора – фундамент – грунт основания» // Строительная механика и расчет сооружений. – 2019. – № 1 (282). – С. 71–79.
21. Сабитов Л.С., Радайкин О.В., Кузнецов И.Л. Теоретические основы определения напряженно-деформированного состояния тонкостенных стержней-оболочек // Строительная механика и расчет сооружений. – 2019. – № 5 (286). – С. 14–26.

THE INFLUENCE OF THE DESIGN FEATURES OF THE TELESCOPIC SUPPORT INTERACTING WITH THE SOIL ON ITS STRENGTH AT THE STAGES OF ITS CONSTRUCTION AND OPERATION

L.S. Sabitov^{1,2}, Y.G. Konoplev¹, D.V. Bereznoi¹, ¹ Kazan (Volga region) Federal University, ² Kazan Engineering Institute

Abstract. *The study examines the influence of geometric, mechanical and structural parameters of the reinforcement of the docking nodes on the stress-strain state of the structure of the supports of overhead power lines taking into account the interaction of the concreted base of the supports with the surrounding soil. Steel supports of overhead power lines, which are thin-walled shell-rods of a closed profile, are modeled by finite elements of a Timoshenko-type shell. The concrete base of the support and the surrounding soil are sampled by three-dimensional finite elements of a continuous medium with the corresponding physical and mechanical properties. The influence of options for kinematic conditions of support fastening and taking into account the contact interaction of a concrete support and soil on the calculation of the design VAT is studied. A methodology for calculating the structures of steel supports and their docking catches was implemented as part of the ANSYS 14.5 numerical simulation software package. Based on the proposed methodology, a computational experiment was conducted, during which an analysis was made of the stress-strain state of the overhead power transmission towers fixed in the ground for various types of reinforcement of the docking nodes.*

Key words: *high-rise structures, a thin-walled rod of a closed profile, the finite element method, a shell of the Timoshenko type, contact interaction*

References

1. Kan S.N., Panovko Ya.G. «E'lementy' stroitel'noj mexaniki tonkostenny'x konstrukcij». – M.: Gos. Izd-vo oboronnoj prom-ti, 1952. – 163 s.
2. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy' dlya E'VM № 2013611451 ot 18.01.2013 g. «AutoRSS.01». Sabitov L.S., Kuznecov I.L., Sabirov S.I. Zayavka № 2012661265 ot 18.12.2012 g.
3. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy' dlya E'VM № 2014617349 ot 17.07.2014. «AutoRSS.02». Sabitov L.S., Kuznecov I.L., Bogdanovich A.U. Zayavka № 2014614903 ot 26.05.2014 g.
4. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy' dlya E'VM № 2017662991 ot 22.11.2017 «AutoRSS.03». Sabitov L.S., Kuznecov I.L., Yudin V.Yu. Zayavka № 2017617847 ot 21.07.2017 g.
5. Sabitov L.S., Kuznecov I.L., Pen'kovcev S.A. Vy'bor racional'nogo tipa poperechnogo secheniya opor // Privolzhskij nauchny'j zhurnal. – 2014. – № 4 (32). – S. 90–94.
6. Sabitov L.S. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie slabokonichnogo sterzhnya peremennogo secheniya / L.S. Sabitov, I.L. Kuznecov, A.U. Bogdanovich // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. – 2014. – №7 (90). – S. 71–79.
7. Pat. 2683424 Rossijskaya Federaciya, MPK E 04 N 12/10 Mnogogrannaya stojka opory' vozduшной linii e'lektroperedachi /L.S. Sabitov, N.F. Kashapov, I.R. Gil'manshin, I.K. Kiyamov, A.K. Mezikov, V.G. Vasil'ev; ot 11.01.2018. Opubl. 28.03.2019.
8. Sabitov L.S., Il'in V.K., Ibragimova A.V., Strelkov Yu.M. Sposob zashhity' stalealuminiev'y'x provodov vozduшной'x linij e'lektroperedachi ot ustalostny'x kolebatel'ny'x povrezhdenij na vy'xode iz podderzhivayushhego zazhima // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. – 2017. – Т. 21. – № 5 (124). – S. 122–130.
9. Sabitov L.S., Kuznecov I.L. Opredelenie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya opor po novej programme «AutoRSS.02» i sravnenie rezul'tatov rascheta po sushhestvuyushhim programmam // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. – 2015. – № 2 (97). – S. 125–132.
10. Pat. RF № 2633604, 04.12.2000. Sborno-razborny'j fundament pod oporu. Patent Rossii № 2633604. 2017. Byul. № 29 / L.S. Sabitov, I.L. Kuznecov, D.M. Xusainov, S.I. Sabirov, Z.R. Axunova, Yu.M. Strelkov

11. Sabitov L.S. Konstrukcii iz trubchaty'x e'lementov v e'nergeticheskom stroitel'stve. Razrabotka. Issledovanie. Vnedrenie // Monografiya / Kazan', 2016. – 234 s.
12. Spravochnik proektirovshhika (raschetno-teoreticheskij). T. 2 / Pod red. A.A. Umanskogo. – 1973. – S. 307.
13. Kryukov K.P., Novgorodcev B.P. Konstrukcii i mexanicheskij raschyot linij e'lektroperedachi. – L.: E'nergiya, 1979. – 312 s.
14. Sabitov L. S., Kashapov N. F., Gilmanshin I. R. Strelkov, Yu. M., Khusainov D. M. Development and investigation of the stressed-deformed state of the demountable foundation for support // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 240 (2017) 012005 doi:10.1088/1757-899X/240/1/012005.
15. Bryan G. N. On the stability of elastic systems. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, mathematical and physical science. – 1889. – Vol. 6. – Rp. 199–210.
16. Bereznoi D.V., Sagdatullin M.K. Modelirovanie deformirovaniya obdelki tonnelya metropolitena, raspolozhennoj v grunte, s uchetom kontaktnogo vzaimodejstviya // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2014. – T. 17. – № 15. – S. 289–293.
17. Bereznoi D.V., Balafendieva I.S., Sachenkov A.A., Sekaeva L.R. Modelling of deformation of underground tunnel lining, interacting with water-saturated soil // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 158, 012018.
18. Bereznoi D.V., Balafendieva I.S., Sachenkov A.A., Sekaeva L.R. Investigation of deformation of elements of three-dimensional reinforced concrete structures located in the soil, interacting with each other through rubber gaskets // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. – Vol. 204, 012005.
19. Redikyul'cev E.A. Chislennoe issledovanie povedeniya izgibaemy'x zhelezobetonny'x e'lementov pri pomoshhi programmno kompleksa ANSYS// Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN. – 2009. – № 2. – S. 81–84.
20. Strelkov Yu.M., Radajkin O.V., Sabitov L.S., Kuznecov I.L. Sravnitel'ny'j analiz staticheskoy raboty' razlichny'x tipov stal'ny'x opor linij e'lektroperedach na osnove komp'yuternogo modelirovaniya sistema' «opora – fundament – grunt osnovaniya» // Stroitel'naya mexanika i raschet sooruzhenij. – 2019. – № 1 (282). – S. 71–79.
21. Sabitov L.S., Radajkin O.V., Kuznecov I.L. Teoreticheskie osnovy' opredeleniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya tonkostenny'x sterzhnej-obolochek // Stroitel'naya mexanika i raschet sooruzhenij. – 2019. – № 5 (286). – S. 14–26.

В ПОРЯДКЕ ОБСУЖДЕНИЯ

УДК 620.172.242.001.57

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ К РАСЧЕТУ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НОВОМУ ПОНЯТИЮ О ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИИ

Х.К. СЕЙФУЛЛАЕВ, д-р техн. наук, проф.

Азербайджанский НИИ строительства и архитектуры

В работе рассматривается сравнение актуализированного норматива по железобетону России и Еврокода, где выявлены некоторые нестыковки результатов расчета и изучены их причины. Даются пути устранения нестыковки полученных решений.

К нестыковкам двух нормативных документов относятся различия взглядов о предельном состоянии железобетонных элементов и результаты расчета с применением этих различных предельных состояний, использование нелинейной деформационной модели, основой которой является гипотеза плоских сечений и диаграммы состояния бетона, линеаризации решения задачи путем замены криволинейных форм диаграмм состояния бетона кусочно-линейными формами, решение задачи длительной прочности бетона с введением понятия о нисходящей ветви криволинейной диаграммы деформации бетона и другие проблемы, характеризующие свойства бетона сжатой зоны.

На основании числовых примеров доказано, что при правильном применении деформационной модели можно устранить вышеуказанные нестыковки двух нормативных документов. Нестыковки этих задач будут учтены при составлении нового варианта национального норматива AzDTN 2.16-1.

Ключевые слова: нелинейная деформационная модель, диаграмма состояния, нестыковка, длительная прочность бетона, кусочно-линейная форма диаграммы, метод предельных состояний.

В 2014 году в российской газете «Строительная газета» № 19 от 9 мая была опубликована статья Р. Санжаровского и Т. Мусабая «Нестыковка актуализированного норматива по железобетону и Еврокода – препятствие в строительстве». Поскольку национальный норматив по железобетону AzDTN 2.16-1 был разработан на основе актуализированного норматива по железобетону России СНиП 52.01-2003, этот вопрос был изучен в АЗНИИСА и по результатам сравнения этих нормативных документов опубликована статья в журнале БСТ, Москва, № 9, 2017.