

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕВЫГОДНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ТОРНАДО НА ПРИМЕРЕ НЕРАЗРЕЗНОЙ ФЕРМЫ

В.Б. ЗЫЛЕВ, *д-р техн. наук, профессор*

Н.А. ГРИГОРЬЕВ, *аспирант*

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)

127055, Москва, Институтский пер. д.10, кв.66.; ZylevVB@yandex.ru

107207, Москва, ул. Уральская 6-1-186; Gr_Nik2003@mail.ru

В статье рассматривается вопрос определения невыгодной траектории движения торнадо для элементов середины сквозного пролетного строения неразрезной железнодорожной фермы. Приводятся «розы ветров торнадо» полученные в результате расчетов, позволяющие определить усилие или перемещение в рассматриваемом элементе конструкции при различных углах атаки торнадо. Приводятся графики горизонтальной и вертикальной опорных реакций при проходе торнадо.

Ключевые слова: торнадо (смерч), железнодорожная ферма, невыгодная траектория, численный метод решения

При расчете на любую временную подвижную нагрузку важную роль имеет место ее приложения и направление. Тем более это касается такой сложной нагрузки как торнадо. Не всегда можно сразу определить какая из траекторий будет наиболее опасной для рассматриваемого элемента конструкции.

В данной статье рассмотрим вопрос о нахождении невыгодной траектории торнадо на примере трехпролетной неразрезной железнодорожной фермы с пролетами 110 + 132 + 110 м под два пути (см. рис.1). Высота фермы - 15 м, длина панели – 11м.

Для определения усилий и перемещений используется численный шаговый

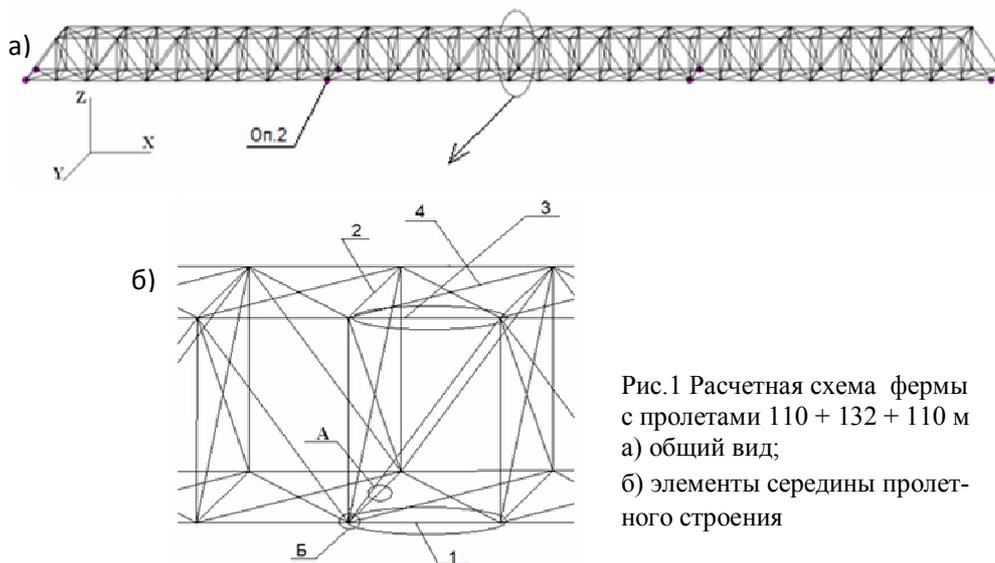


Рис.1 Расчетная схема фермы с пролетами 110 + 132 + 110 м
а) общий вид;
б) элементы середины пролетного строения

метод интегрирования уравнений движения, реализующий явную вычислительную схему. Он получен в [1] и подробно описан в [2] и [3]. Расчетная схема создается из стержней, работающих на растяжение (сжатие) с шарнирным соединением в узлах. Рассматриваются произвольно большие перемещения.

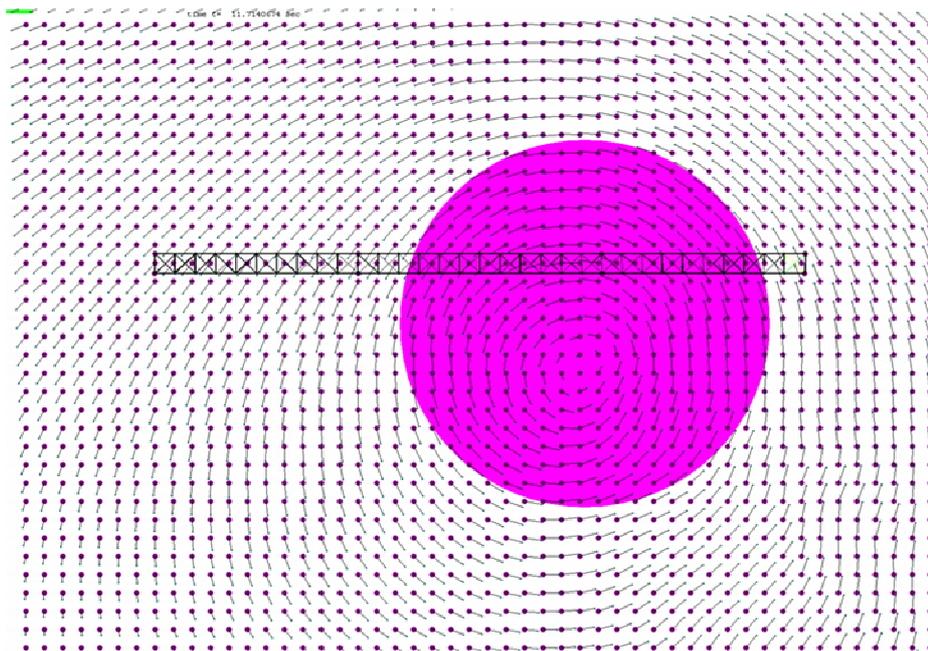


Рис.2 Условное поле скоростей в вихревой модели

Распределение скоростей в воронке торнадо принято по модели вихря Ренкина [4,5]. Она подразумевает то, что у воронки есть граничный диаметр, внутри которого скорости ветра растут линейно от нуля до максимальной, а по мере отдаления от воронки скорости убывают по гиперболе. Полная скорость ветрового потока определяется как сумма поступательного движения центра воронки и вращательного движения воздуха в ней. Условное поле скоростей показано на рис.2. Оно получено путем ввода в модель дополнительных стержней, шарнирно закрепленных в одном узле так, что наклон этих стержней будет показывать направление ветра. Так как стержни нельзя сделать полностью невесомыми, они будут обладать инерцией и соответственно менять свое направление с небольшим запозданием, поэтому поле скоростей будет условным.

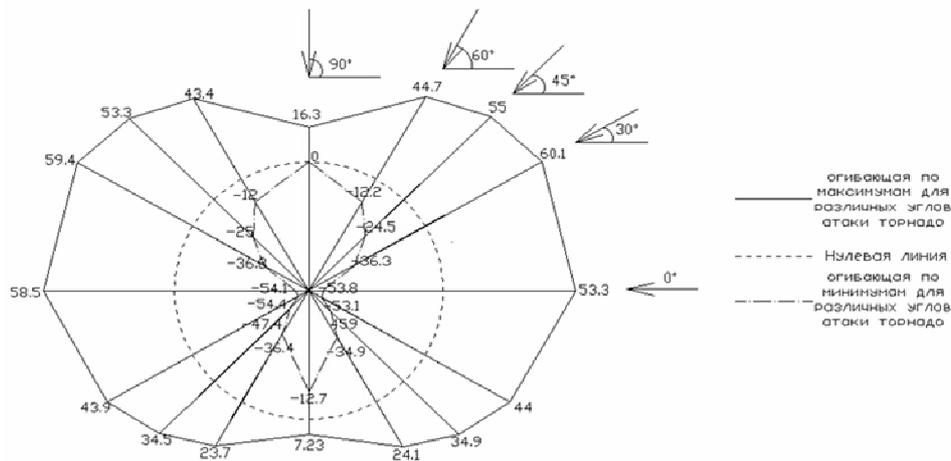


Рис.3 «Роза ветров торнадо» для перемещения середины пролетного строения по оси Y (т.Б на рис.1), $\text{м} \cdot 10^{-3}$

Для расчета были приняты следующие характеристики торнадо: радиус воронки – 100м, скорость движения воронки – 16,9м/с, тангенциальная скорость движения частиц в воронке – 77,8 м/с. Вращение воронки происходит против часовой стрелки, что характерно для большинства торнадо.

Задачу определения невыгодного воздействия торнадо можно разделить на две части – определение наиболее опасного угла атаки торнадо и координат, через которые будет проходить центр воронки.

В данной работе ограничимся подробным рассмотрением усилий в характерных элементах фермы в середине центрального пролета (стержни 1,2,3,4 на рис. 1, б). Сначала определим наиболее опасный угол атаки торнадо. Для этого, в первом приближении, зададимся точкой, через которую будет проходить центр воронки. Так как рассматриваемые элементы находятся в середине центрального пролета фермы, то целесообразно за эту точку принять середину моста (точка А на рис. 1, б).

Были сделаны 18 расчетов с различными углами атаки торнадо - 0, 30, 45, 60, 90 градусов в каждой координатной четверти. По полученным результатам были построены «розы ветров торнадо» перемещения в середине пролета по

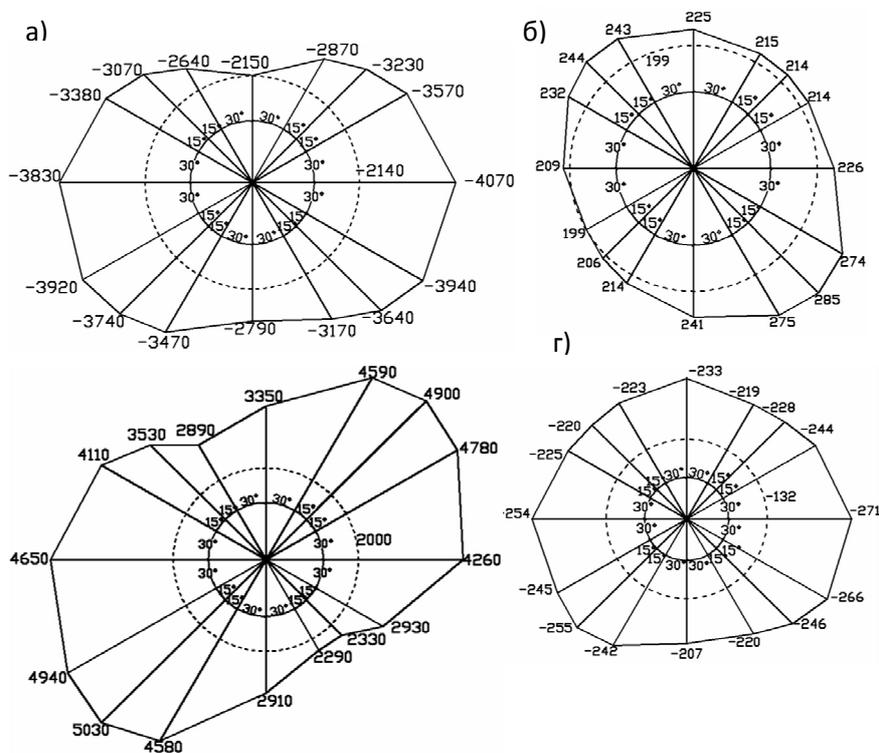


Рис. 4 «Розы ветров торнадо» для усилий, кН
 а) стержень 1 ; б) стержень 2 ; в) стержень 3 ; г) стержень 4(см рис.1.а)
 (сплошной линией обозначены суммарные усилия, пунктиром показаны усилия от собственного веса)

оси Y(точка Б на рис. 1,б) и усилий в рассматриваемых элементах фермы. На рисунках отложены максимальные и минимальные значения искомых факторов за исследованный отрезок времени. Каждый соответствовал 30 секундам реального динамического процесса. За 30 секунд воронка торнадо смещается на 507 метров. Такой расчет требовал 10 минут работы компьютера, с процессором

2.93 ГГц. Видно, что «роза ветров торнадо» для перемещения середины пролета поперек моста (рис. 3) практически симметричная, максимальные перемещения - 0.06м вызывает торнадо, проходящее под углом 30° к оси фермы.

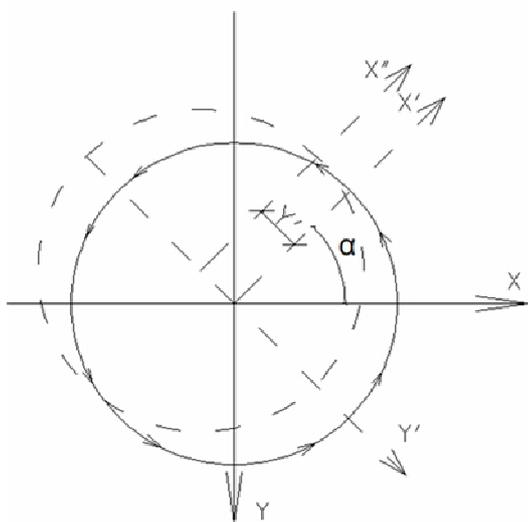


Рис. 5

Зная наиболее невыгодные углы атаки торнадо для рассматриваемых элементов были проведены расчеты системы, с траекториями движения воронки, параллельными к полученным. На рис. 5 изображена воронка торнадо, оси X и Y – в глобальной системе координат, а ось X' направлена по движению воронки, ось Y' перпендикулярно ей, тогда смещая траектории по оси Y' найдем опасное положение траектории прохождения торнадо. На рис.6 представлены полученные результаты в виде графиков. На горизонтальной оси отложены расстояния по оси Y' (расстояние от исходной траектории для которой определялся невыгодный угол атаки торнадо до рассматриваемой траектории) (см рис.5), на вертикальной - показаны усилия, полученные для данной траектории движения. По графикам видно, что наиболее опасная траектория для всех рассматриваемых нами элементов будет проходить в пределах 5-10м от середины моста.

Однако, несмотря на то, что для элементов фермы торнадо не представляет серьезной угрозы, существует вероятность, если не опрокидывания (вертикальные опорные реакции не меняют знак (см. рис. 7 а) то съезда пролетного строения поперек сооружения, так как горизонтальная опорная реакция в процессе расчета достигала 3210 кН.(см рис. 7, б.) Следует также отметить что все расчеты производились без учета возможной временной нагрузки, появление которой на мосту во время прохождения торнадо могло бы существенно изменить влияние смерча на конструкцию. Однако вероятность прохода смерча такой силы, по какой-то определенной траектории, тем более одновременно с поездом, чрезвычайно мала.

Используемый алгоритм решения динамической задачи позволил выявить наиболее невыгодные траектории движения смерча. Рассмотренное воздействие относится к классу смерча по шкале Фуджиты, который характеризуется серьезными повреждениями (сорваны крыши с каркасов домов и разрушена часть вертикальных стен; здания в сельских районах полностью разрушены; опрокинуты поезда; разорваны конструкции со стальной оболочкой типа ангаров и пакгаузов; автомобили отрывались от земли и подбрасывались в воздух; большинство деревьев в лесу вырваны с корнем, унесены или повалены на землю)

Максимальное растягивающее усилие в нижнем поясе $N=5030\text{кН}$ (рис.4,а) вызывает торнадо подходящее под углом 135° к продольной оси фермы. Для верхнего пояса наиболее опасным является направление вихря, совпадающее с продольной осью фермы (рис.4.в), оно вызывает усилие $N = -4070 \text{ кН}$. Приращение напряжений от воздействия торнадо не превышает 50 МПа.

Зная наиболее невыгодные углы атаки торнадо для рассматриваемых элементов были проведены расчеты системы, с траекториями движения воронки, параллельными к полученным. На рис. 5 изображена воронка торнадо, оси X и Y – в глобальной

[5]. Для рассмотренной мостовой железнодорожной фермы опасность вызывает возможность съезда в поперечном направлении с опорных частей.

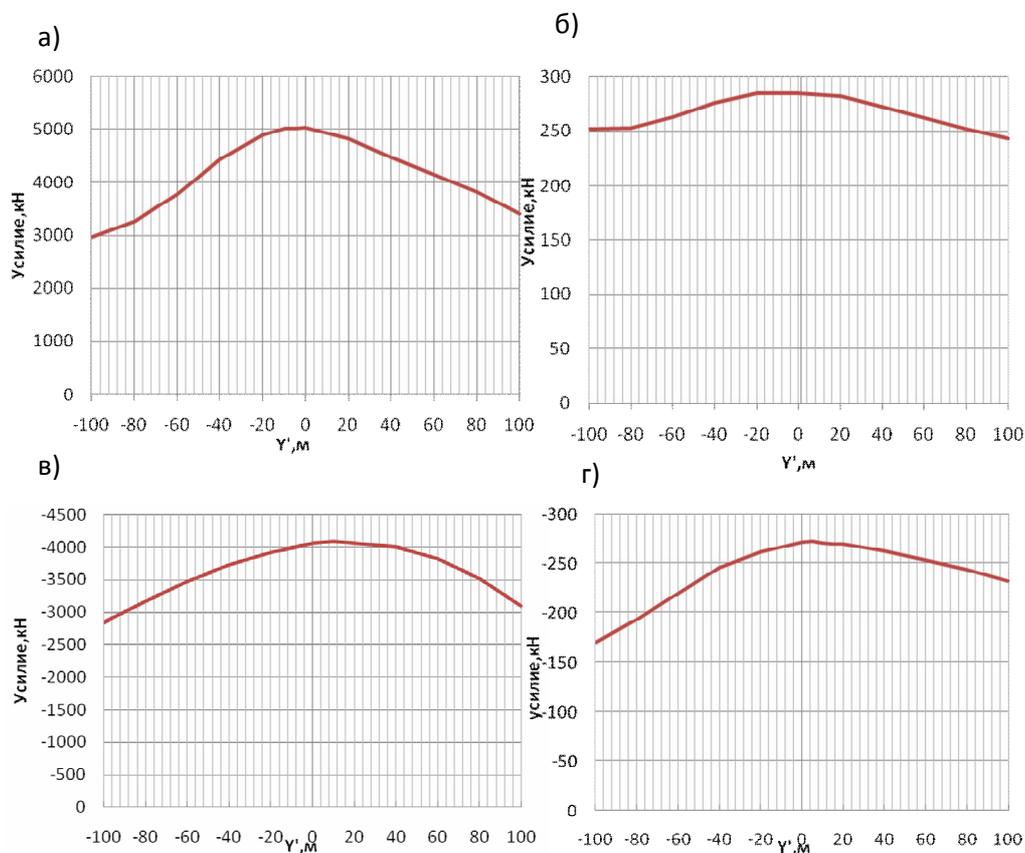


Рис.6 Графики усилий в характерных элементах фермы, в зависимости от траектории движения воронки, для наиболее опасного угла атаки торнадо.

а) стержень 1 ; б) стержень 2 ; в) стержень 3 ; г) стержень 4(см рис.1,а)

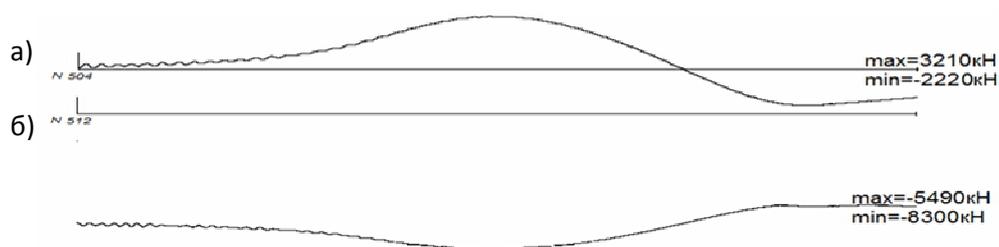


Рис.7. Графики опорных реакций в ферме

а) горизонтальная поперечная сила на опоре 2(дальняя от нас плоскость на рис. 1, а.)
 б) вертикальная опорная реакция на опоре 2 (ближняя к нам плоскость на рис.1, а.)

Л и т е р а т у р а

1. Зылев В.Б., Штейн А.В. Численное решение задачи о нелинейных колебаниях системы нитей// Строительная механика и расчет сооружений. – 1986. – №6. – С. 145.
2. Александров А.В., Потапов В.Д., Зылев В.Б. Строительная механика. Книга 2. Динамика и устойчивость упругих систем. - М.: «Высшая школа», 2008. – 384с.
3. Зылев В.Б. Вычислительные методы в нелинейной механике конструкций. - М.:НИЦ «Инженер», 1999. -144 с.

4. *Симиу Э., Сканлан Р.* Воздействия ветра на здания и сооружения. – М.: Стройиздат, 1984. – 358 с.

5. *Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф.* Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – С. 286-296.

THE DETERMINATION OF UNFAVORABLE TRAJECTORY OF TORNADO MOVEMENT BY ANALOGY WITH ANALYSIS OF TRUSS

V.B. Zylev, N.A. Grigoriyev

The article discusses the definition of unfavorable trajectory of tornadoes for the elements of the middle of the through span structure of a continuous rail truss. Contains "tornado wind rose" resulting from the calculations, allowing to define stress or displacement in this element of structure at different angles of attack of tornado. Diagrams of horizontal and vertical support reactions at the moment of tornado passing are given.

KEY WORDS: tornado, railway bridge, unfavorable trajectory, numerical method

