

Статья

Исследование реакции на ветер и отклонения ветра

Контроль пролета конструкции верхней уплотнительной сетки

Линии электропередачи

Мэн Чжан, Гуанцин Фэн, Сюй Чжан и Гуйфэн Чжао *



Школа гражданского строительства, Университет Чжэнчжоу, Чжэнчжоу 450001, Китай; zhangmeng@zzu.edu.cn (M3)
 * Переписка: gfhzhao@zzu.edu.cn

Аннотация: Конструкции герметизирующей сетки часто используются в качестве защитных устройств на вновь строящихся линиях электропередачи, пересекающих существующие линии. Они направлены на обеспечение безопасности при строительстве и эксплуатации пересекающихся линий. Для изучения характеристик реагирования конструкций герметизирующей сетки на прогиб ветровой нагрузки при ветровых нагрузках была создана модель конструкции герметизирующей сетки с использованием программного обеспечения ANSYS/APDL для анализа методом конечных элементов. Эта модель представляет собой конструкцию верхней уплотняющей сетки, охватывающую существующую линию. Результаты, полученные в результате моделирования методом конечных элементов, хорошо согласуются с теоретическими расчетами, что указывает на достоверность установленной модели конечных элементов для точного анализа реакции конструкции герметизирующей сетки на воздействие ветра. Развивая эту основу, в исследовании было проанализировано влияние различных факторов на отклонение герметизирующей сетки ветром. Эти факторы включают пролет, скорость ветра, предварительное натяжение контактной сети, угол направления ветра, угол расположения и метод дополнительных вант. В ходе исследования было изучено влияние этих факторов на ветровое отклонение конструкции герметизирующей сетки. Кроме того, было представлено предложение по устройству закрывающей конструкции для уменьшения отклонения от ветра. Это предложение представляет собой ценное руководство по проектированию и соображениям без сетчатых структур.

Ключевые слова: структура уплотняющей сетки; реакция, вызванная ветром; контроль ветрового отклонения; дополнительные вантовые тросы



Цитирование: Чжан М.; Фэн, Г.; Чжан, Х.; Чжао, Г. Исследование реакции на ветер и управления ветровым отклонением конструкции воздушной изоляционной сетки, охватывающей линии электропередачи. Здания 2023, 13, 2947. <https://doi.org/10.3390/buildings13122947>.

Академический редактор: Шаохун Чэн

Поступила: 27 сентября 2023 г.

Пересмотрено: 22 ноября 2023 г.

Принято: 24 ноября 2023 г.

Опубликовано: 26 ноября 2023 г.



Копирайт: © 2023 авторов.

Лицензиат MDPI, Базель, Швейцария.

Эта статья находится в открытом доступе. распространяется на условиях и условия Creative Commons

Лицензия с указанием авторства (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

В условиях растущего глобального спроса на электроэнергию растет потребность в разработке проектов по передаче электроэнергии на большие расстояния и высокой мощности, охватывающих регионы. Кроме того, наблюдается растущая тенденция к строительству новых линий электропередачи, которые пересекают существующие линии электропередачи, железные дороги, автомагистрали, судоходные водные пути, возвышенности, долины, сельскохозяйственные угодья и девственные леса, а также другие специализированные области [1]. Прокладка новых линий электропередачи часто приводит к необходимости бесперебойной работы существующих линий, с которыми они пересекаются. Чтобы оптимизировать использование проходимой территории и обеспечить ее защиту, в качестве меры безопасности при прокладке этих линий электропередачи обычно используется конструкция воздушной уплотняющей сетки [2,3], как показано на рисунке 1.

Конструкция герметизирующей сетки, установленная на воздушной линии электропередачи, пересекает железные дороги, автомагистрали, судоходные водные пути и другие существующие линии, как показано на рисунке 2. Ее основная функция — перехват падающей ломаной линии и предотвращение ударов при обрыве линии. Для существующих цепей обеспечьте безопасное расстояние между ними, чтобы обеспечить безопасность существующих цепей [4]. Для проведения комплексного исследования безопасности конструкции герметизирующей сетки для линий электропередачи необходимо убедиться, что герметизирующая конструкция не только соответствует требованиям прочности для перехвата ломаных линий, но и эффективно перехватывает падающие линии электропередачи в определенном диапазоне.

перехватывает падающие линии электропередачи в определенном диапазоне.



сельскохозяйственные угодья рисунок 1. Схематическая диаграмма конструкции запечатывающей сети.

Рисунок 1. Принципиальная схема конструкции герметизирующей сетки.

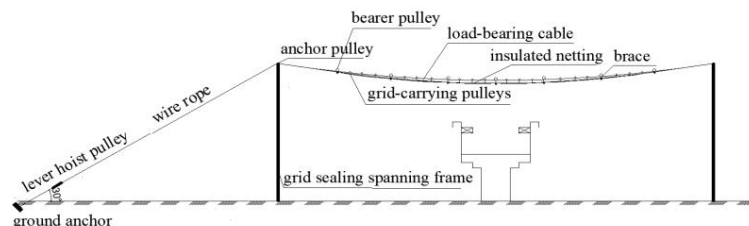


Рисунок 2. Устройство конструкции уплотнительной сетки.

Рисунок 2. Устойчивость конструкции герметизирующей сетки, ученые в стране и за рубежом

Рисунок 2. Устройство конструкции уплотнительной сетки.

[illegible]

Это вызывает колебания, которые препятствуют его способности эффективно перехватывать ломанные линии или даже допускать проникновение других линий, что приводит к потенциальным авариям. Следовательно, структура уплотняющей сетки демонстрирует очевидные нелинейные характеристики при ветровых нагрузках [10]. На основе

уплотняющей сетки демонстрирует очевидные нелинейные характеристики при ветровых нагрузках [10]. На основе

Учитывая эту характеристику, исследователи провели исследования по конструкциям герметизирующей сетки, а также конструкциям, похожим на конструкции герметизирующей сетки, включая кабельные сети, гуманоидные подвесные мосты и конструкции защитной сетки.

Ваеззаде и др. [11] нашли сопротивление обрушению конструкций кабельной сети, рассмотрев 24 прототипа и 168 сценариев обрушения. Сильно нелинейное поведение кабелей создает проблемы, приводящие к большим смещениям и неустойчивости. Разрушение ограничителей было определено как наиболее разрушительный сценарий обрушения, особенно затрагивающий угловые колонны в многопролетных кабельных сетях. Для анализа использовалась пошаговая нелинейная псевдодинамическая процедура с точным моделированием разрушения. Ву и др. [12] сосредоточились на активном контроле вибрации конструкций кабельных сетей с помощью многоярусных пьезоэлектрических актуаторов. Был предложен нелинейный метод решения проблем вибрации при наличии неопределенностей. Неопределенная модель была получена из номинальной модели, и было выведено нелинейное управление с обратной связью. Нелинейный подход продемонстрировал осуществимость, надежность и улучшенную производительность по сравнению с линейным управлением. Сальватори и др. [13] проанализировали воздействие ветра на подвесные мосты путем численного моделирования с учетом структурных нелинейностей. Были включены эффекты самовозбуждения и бафтинг. Реакция на турбулентный ветер оценивалась с использованием метода Монте-Карло. Структурная модель с двумя сечениями отражает ключевые характеристики. Структурные нелинейности ограничивают амплитуду колебаний, и полностью коррелированный поток мог недооценивать реакцию. Эскаллон и др. [14] разработали модель конечных элементов для точного моделирования механического поведения проволочных сетей в барьерах для защиты от камнепадов. Модель успешно воспроизвела нелинейную реакцию смещения силы, наблюдавшуюся в ходе лабораторных испытаний и полномасштабных барьерных испытаний. Халхалиха и др. В работе [15] основное внимание было уделено структурной динамике седловидной конструкции вантовой сети с предварительно напряженными вант. Параметрический нелинейный динамический анализ был проведен для оценки реакции системы на различные массы, геометрии, напряжения и амплитуды возбуждения. Эквивалентная модель с одной степенью свободы точно оценила реакцию смещения, а нелинейный алгоритм активного управления эффективно снизил реакцию конструкции на переходное ветровое возбуждение. Лиойд и др. [16] описали эффективность серии страховочных сетей различной конфигурации, испытанных при низкоскоростных ударах. Также представлена общая производительность различных конфигураций сетей. Приводятся выводы и рекомендации, касающиеся конфигурации сети и деталей подключения. Бертоло и др. [17] предложили процедуру испытаний для оценки общей эффективности защитной сетки. Они обнаружили, что результаты испытаний защитной сетки эффективно отражают кривую нагрузка-перемещение во время испытаний, обеспечивая точное представление ее поведения. Эскаллон и др. [18] разработали модель конечных элементов для анализа защитных сетей. Эта модель учитывает пластичность и поведение материала при повреждении и точно отражает нелинейные кривые нагрузки и смещения, наблюдаемые в экспериментальных испытаниях. Ван и др. [19] провели испытание в аэродинамической трубе с использованием уменьшенной модели для анализа методов смягчения вызванных ветром отклонений в конструкциях герметизирующей сетки. Они специально исследовали влияние использования тросов в форме восьмерки под разными углами и положениями для контроля отклонения герметизирующей сетки ветром. В области проектирования конструкций как внутри страны, так и за рубежом проводятся исследования для всестороннего учета различных факторов при анализе конструкций. К этим факторам относятся свойства материала, геометрические формы, граничные условия, а также сила и направление ветровых нагрузок. Чтобы глубже понять подобные структуры, исследователи использовали подходящие методы численного моделирования и подходы к экспериментальному тестированию. Эти исследования были сосредоточены на изучении нелинейных реакций, проявляемых такими структурами, включая нелинейное поведение материалов, эффекты геометрической нелинейности и контактной нелинейности.

Согласно предыдущим исследованиям, как отечественные, так и международные ученые тщательно изучили материалы, механические характеристики и прочность конструкций герметизирующей сетки. В результате конструкции из герметизирующей сетки нашли широкое применение в инженерных проектах, что подчеркивает важность обеспечения их безопасности и надежности. Однако в текущих исследованиях отсутствуют всесторонние исследования и достаточное рассмотрение реакции вибрации, вызванной ветром, и контроля смещения конструкций герметизирующей сетки под ветром.

Условия загрузки. Этот разрыв существует, прежде всего, из-за сложного и взаимосвязанного характера проблемы. Влияние ветровой нагрузки на конструкции герметизирующей сетки включает в себя различные факторы, включая динамическую реакцию конструкции, характеристики ветровой нагрузки и геометрическую форму, все из которых необходимо рассматривать целостно. Кроме того, герметичные сетчатые конструкции подвержены значительным деформациям и смещениям во время сильного ветра, что может привести к серьезным последствиям, таким как структурное повреждение или функциональные ограничения. Поэтому изучение управления ветровым перемещением также имеет большое значение. Для повышения показателей безопасности конструкций герметизирующей сетки крайне важно провести углубленное исследование и анализ реакции вибрации, вызванной ветром, и смещения, вызванного ветром.

В этом исследовании всесторонне анализируется реакция конструкций запечатывающих сетей на ветер, чтобы моделировать их поведение под действием ветра. При анализе учитываются такие факторы, как расстояние сваливания, скорость ветра, сила предварительного натяжения несущих тросов и угол ветра. Дополнительно исследовано влияние углов расположения и способов дополнительного натяжения тросов на ветровой прогиб конструкций герметизирующей сетки. На основе этих выводов даются рекомендации по устройству конструкций герметизирующей сетки для эффективного предотвращения и контроля прогибов, вызванных ветром. Это исследование дополняет текущий прогресс в области анализа вибрации ветра и контроля смещения ветром, а также создает теоретическую основу для дальнейшего повышения показателей безопасности конструкций герметизирующей сетки.

2. Моделирование ветровых нагрузок на конструкции герметизирующей сетки.

На конструкции из герметизирующей сетки значительное влияние оказывают ветровые нагрузки в силу присущих им характеристик. Поэтому крайне важно изучить механизмы реагирования конструкций герметизирующей сетки на воздействие ветровой нагрузки. Это предполагает получение конкретной информации о поле ветра и ветровых нагрузках, действующих на уплотняющую сетку. В этой главе мы в первую очередь сосредоточимся на представлении теоретических знаний о ветре и моделировании ветрового поля там, где расположены конструкции изолирующей сети. Фундаментальные теоретические знания о ветре включают различные аспекты, такие как средние характеристики ветра и характеристики турбулентного ветра. В данной работе рассматривались характеристики пульсирующего ветра и применялся метод гармонической суперпозиции [20]. Кроме того, спектр Давенпорта [21] использовался в качестве целевого спектра для моделирования поля ветра при различных скоростях ветра. Точность результатов моделирования была подтверждена, и впоследствии скорость ветра была преобразована во временную диаграмму ветровой нагрузки. Этот преобразованный профиль ветровой нагрузки послужил входной нагрузкой для конструкции, заложив тем самым основу для изучения временного анализа вибрационной реакции кабеля, вызванной ветром. сетчатая структура.

2.1. Характеристики ветра

Ветер относится к движению воздуха относительно поверхности Земли, в результате чего поток воздуха движется с определенной скоростью. Анализ наблюдаемых данных о ветре показывает, что изменение скорости ветра во времени состоит из двух основных компонентов. Первый компонент — это средняя скорость ветра, обозначаемая как U , которая, несмотря на свою динамическую природу, демонстрирует поведение, подобное статической силе. Вторая составляющая — это пульсирующая скорость ветра u , характеризующаяся колебаниями, оказывающими динамическое воздействие на конструкции. Влияние этих двух компонентов скорости ветра на конструкции можно исследовать независимо. Это можно выполнить, рассматривая вклад как среднего ветра, анализируемого с точки зрения статических сил, так и пульсирующего ветра, исследуемого с точки зрения динамических сил.

2.2. Средние характеристики ветра

В течение определенного интервала времени сила, действующая средним ветром на различные типы сооружений, остается постоянной по величине и направлению. На величину средней скорости ветра влияет высота моделируемого места. В рамках

пограничный слой атмосферы характеризуется изменением средней скорости ветра с высотой по среднему профилю ветра. Степенное уравнение профиля ветра имеет следующий вид:

$$\frac{U}{U_s} = \left(\frac{z}{z_s} \right)^{\alpha} \tag{1}$$

В этом выражении U представляет собой среднюю скорость ветра на любой заданной высоте, z представляет высоту в любой заданной точке, U_s представляет среднюю скорость ветра в эталонной точке, z_s представляет собой эталонную высоту, а α представляет коэффициенты шероховатости.

Нормативы по нагрузкам на здания требуют использования экспоненциального профиля ветра. Уравнение (1) для определения ветровых нагрузок на конструкции. Это уравнение подразделяется на четыре группы в зависимости от при различных условиях шероховатости грунта с соответствующими коэффициентами шероховатости α предназначены для различных типов местности. Эти коэффициенты подробно описаны в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициент шероховатости и высота градиента ветра при различных формах рельефа.

Категория	Геоморфологическое описание	зГ (м)	α
А	Моря, острова, побережья, берега озер и засушливые регионы.	300	0,12
Б	Поля, сельская местность, джунгли, а также малонаселенные малые и средние города. и городские пригороды.	350	0,16
С	Городские районы с плотной застройкой.	400	0,22
Д	Городские районы крупных городов с плотной застройкой и большим количеством высотных зданий.	450	0,30

2.3. Характеристики пульсирующего ветра

Пульсирующий ветер демонстрирует стохастические колебания как во времени, так и в пространстве; однако его фундаментальные свойства все еще можно уловить с помощью вероятностных подходов. Статистический анализ выборок временных рядов скорости ветра, полученных в результате эмпирических измерений, показывает, что турбулентный ветер демонстрирует заметную нестационарность, что не является в зависимости от среднего ветра. Эту нестационарность можно адекватно представить с помощью Гауссовский стационарный случайный процесс со средним значением, равным нулю.

Динамическая реакция конструкций на вибрации, вызванные ветром, в первую очередь зависит от турбулентное движение переменного ветра. Турбулентность возникает в результате взаимодействия среди мелких вихрей, образующихся из-за препятствий на пути ветрового потока. Характеристика Турбулентность включает в себя четыре основных элемента: интенсивность турбулентности, интегральный масштаб турбулентности, спектры турбулентной пульсирующей скорости ветра и перекрестная спектральная плотность.

Интенсивность пульсации является широко используемым показателем для характеристики атмосферы. турбулентность. В частности, он количественно определяет уровень турбулентности в продольном направлении на заданная высота z , а $I(z)$ определяется как:

$$I(z) = \sigma_v f(z)/U(z) \tag{2}$$

В уравнении $I(z)$ обозначает интенсивность турбулентности на высоте z , $\sigma_v f(z)$ представляет собой интенсивность турбулентности на высоте z . Среднеквадратичное значение продольной скорости ветра, а $U(z)$ соответствует к средней скорости ветра на высоте z . В связи с постепенным уменьшением корневой средней квадратичное значение колеблющейся скорости ветра $\sigma_v f(z)$ и сопутствующее увеличение Средняя скорость ветра $U(z)$ с увеличением высоты интенсивность турбулентности $I(z)$ демонстрирует тенденция к уменьшению по мере увеличения высоты.

Спектр пульсирующей энергии ветра

В практических приложениях пульсирующий ветер часто встречается как пульсирующий ветер с трех измерениях: по направлению ветра, перпендикулярно направлению ветра и вертикальная турбулентность. Вертикальная турбулентность имеет незначительное численное значение и может быть не учитывается с точки зрения влияния на структуру. Турбулентность бокового ветра также относительно небольшой, а механизм его действия сложен. Поэтому данная глава исключительно

основное внимание уделяется влиянию турбулентности ниже по потоку на конструкцию. Спектр мощности пульсирующего ветра описывает распределение пульсирующей энергии ветра в частотной области. Он отражает вклад различных частотных составляющих пульсирующего ветра в общую кинетическую энергию турбулентной пульсации. На основе больших пролетов и плавных характеристик конструкции кабельной сети, а также минимального изменения высоты плоскости замыкания сети используется спектр скорости ветра Давенпорта, который остается постоянным по высоте. Выражение для спектра скорости ветра в Давенпорте выглядит следующим образом:

$$S_v(n) = 4k v_{10}^2 \frac{x^{2x}}{\pi(1 + x^2)^{4/3}} \quad (3)$$

где $x = 1200n/v_{10}$, $S_v(n)$ — спектральная плотность мощности, k — коэффициент сопротивления грунта, n — частота колебаний ветра, а v_{10} — средняя скорость ветра, преобразованная в стандартную высоту.

Пульсирующие ветры проявляют как автокорреляционные свойства, так и пространственные корреляции [22]. Пространственную корреляцию пульсирующих ветров можно описать с помощью функции когерентности, которую математически можно представить функцией экспоненциального затухания. Выражение для функции когерентности выглядит следующим образом:

$$Coh(\omega) = \exp \left[-C \frac{\omega r}{2\pi v(z)} \right] \quad (4)$$

где C — коэффициент затухания, ω — круговая частота, r — расстояние между двумя точками в пространстве, а $v(z)$ — средняя скорость ветра на высоте z .

На экспоненциальную функцию когерентности влияют расстояние, частота и средняя скорость ветра. Можно сделать вывод, что по мере уменьшения расстояния между двумя точками частота уменьшается, средняя скорость ветра увеличивается и пространственная корреляция становится сильнее.

$$Coh(\omega) = \exp \left[-\frac{2n \left(c_x \sqrt{(x_i - x_j)^2 + c_y \sqrt{(y_i - y_j)^2 + c_z \sqrt{(z_i - z_j)^2}} \right)}{v(z_i) + v(z_j)} \right] \quad (5)$$

где c_x , c_y и c_z — коэффициенты пространственного затухания в направлениях x , y и z соответственно. Основываясь на опыте, коэффициенты пространственного затухания в трех направлениях установлены равными 16, 8 и 10. $v(z_i)$ и $v(z_j)$ — это средние скорости ветра на каждой высоте для точек i и j соответственно.

2.4. Моделирование истории скорости и времени ветра

В этом исследовании анализ реакции на ветровую вибрацию конструкции герметизирующей сетки проводится с использованием метода временной области. Перед анализом необходимо смоделировать временную историю скорости ветра для конструкции. В моделировании используется несколько ключевых параметров, которые представлены в Таблице 2.

В случае структуры пролетной сетки 200 м временные графики скорости ветра в 61 точке были смоделированы с использованием программного обеспечения MATLAB. При моделировании скорости ветра в этом исследовании рассматривался широкий диапазон скоростей ветра. Однако для целей данного исследования мы представляем результаты для базовой скорости ветра 10 м/с. Положения 61 точки моделирования показаны на рисунке 3. Кривая временной динамики пульсирующей скорости ветра в узле, где уплотняющая сеть пересекает середину, а собственная мощность показана на рисунке 4.

мощности	Количество точек	Спектр Давенпорта
моделирования	Таблица 2. Основные	61
параметры моделирования ветрового поля.	Общее время/временной интервал истории скорости ветра (с)	300/0,01
Количество точек моделирования	Центральная	2048
частота/частота среза (Гц)	Метод моделирования	0,001/10
Метод моделирования	Метод гармонической суперпозиции	Экспоненциальный закон
Модель средней скорости ветра	Экспоненциальный закон	

В случае среднего ветра 20 м/с временная диаграмма скорости ветра составляет 61 м. точки моделирования не использовались программным обеспечением MATLAB. Учитывая симуляцию ветра в данном исследовании рассматривался широкий диапазон скоростей ветра. Однако в целях В рамках данного исследования мы представляем результаты для базовой скорости ветра 10 м/с. Позн- Количество точек моделирования 61

Параметры 61 точки моделирования показаны на рис. 3. Кривая пульсирующего временного диапазона скорости ветра в узле, где уплотняющая сетка охватывает середину и собственной мощности показана на рисунке 4.

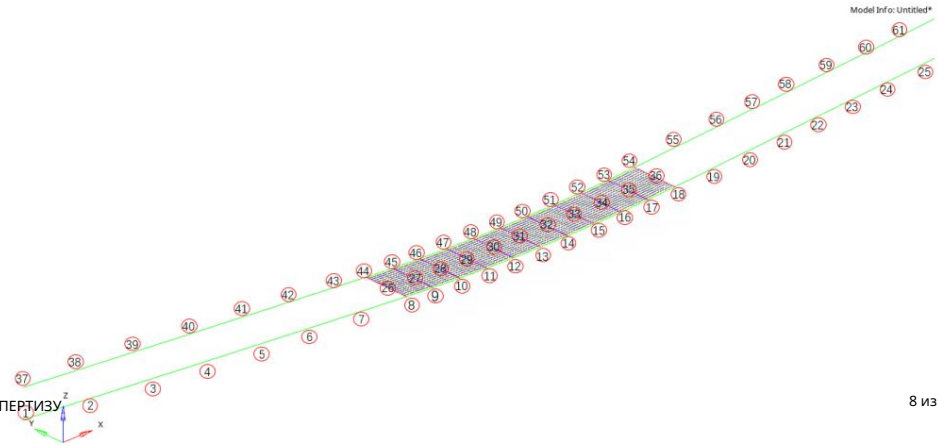


Рисунок 3. Расположение точек моделирования скорости ветра.

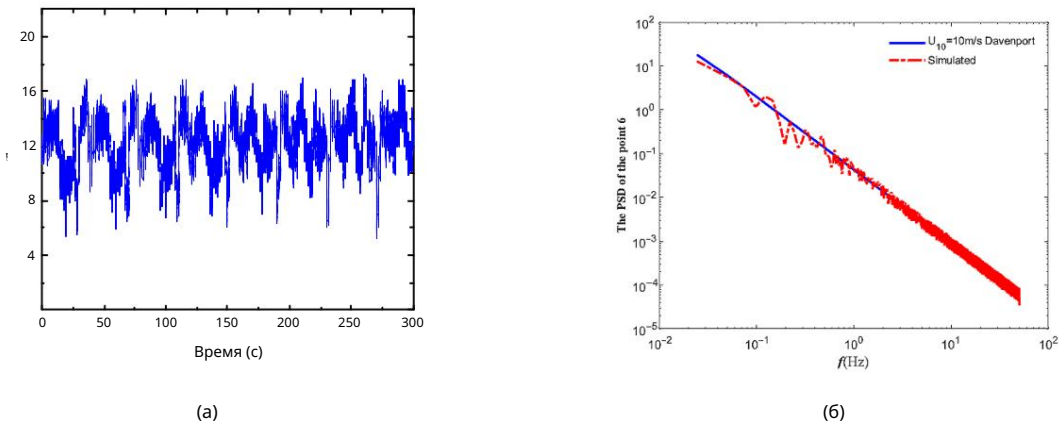


Рисунок 4. Моделирование стохастического поля ветра в точке 13. (а) Моделирование кривой изменения скорости ветра во времени. в точке 13 при базовой скорости ветра 10 м/с. (б) Сравнение спектра мощности скорости ветра и целевой спектр в точке моделирования 13.

Согласно рисунку 4, стохастическое распределение моделируемой скорости ветра по времени оказывается независимым, что согласуется с характеристиками пульсирующего стохастического распределения ветра. Кроме того, смоделированный спектр мощности скорости ветра оказывается независимым, что соответствует характеристикам пульсирующего ветра демонстрирует более близкое соответствие спектру Давенпорта. Эти данные указывают стохастическое распределение. Кроме того, смоделированный спектр мощности скорости ветра показывает, что демонстрирует более близкое соответствие спектру Давенпорта. Эти данные указывают на то, что су, что делвет его пригодным для динамического структурного анализа. Моделирование временной истории скорости ветра в этом исследовании демонстрирует высокий уровень точности, отображая он и в результате динамического структурного анализа.

2.5. Расчет ветровой нагрузки

Скорость ветра, полученная в результате моделирования, не может быть напрямую использована для расчета конструкции. расчеты ответов. Ее необходимо преобразовать в ветровую нагрузку, прежде чем прикладывать ее к конструкции. Скорость ветра, полученная в результате моделирования, не может быть напрямую использована для расчета конструкции. расчеты ответов. Ее необходимо преобразовать в ветровую нагрузку, прежде чем прикладывать ее к конструкции. Скорость ветра, полученная в результате моделирования, не может быть напрямую использована для расчета конструкции. расчеты ответов. Ее необходимо преобразовать в ветровую нагрузку, прежде чем прикладывать ее к конструкции.

$$\Phi_T() \frac{1}{2} (\chi \chi) (z(z) z(z,))$$

(6)

где – плотность воздуха; U (z) и (.) zt — средний и пульсирующий ветер

состав. В частности, пульсирующую ветровую нагрузку следует прикладывать к назначенной нагрузке. точка на конструкции уплотнительной сетки для точных расчетов. Ветровая нагрузка, приложенная к линию на уплотняющей сетке можно определить следующим образом:

$$F(t) = \frac{1}{2} \rho (U(z) + \mu(z, t))^2 B(z) C(z)$$

(6)

где ρ – плотность воздуха; $U(z)$ и $\mu(z, t)$ — средние и пульсирующие скорости ветра. на высоте z соответственно; $B(z)$ — проектируемая ширина конструкции при вертикальном ветре. направление; $C(z)$ – коэффициент формы ветровой нагрузки конструкции по стандарту. ДЛТ 5486-2020 «Технические условия на проектирование стальных несущих конструкций воздушная линия электропередачи» [23]. Когда направление ветра совпадает с направлением над головой линия электропередачи под определенным углом, ветровые нагрузки на вертикальную и нисходящие составляющие определяются исходя из значений, указанных в таблице 3. Стоит отмечая, что уровни ветровой нагрузки, испытываемые конструкцией герметизирующей сетки и проводником сопоставимы. Таким образом, для компонента герметизирующей сетки разные углы ветра в вертикальное и нисходящее направления также выбираются в соответствии с предоставленными значениями в таблице 3.

Таблица 3. Ветровые нагрузки на линии замыкания при угловом ветре.

Угол направления ветра θ (градусы)	X-направление	Направление Y
0	0 $F(t)$	0,25 $F(t)$
30	0,25 $F(t)$	0,19 $F(t)$
45	0,50 $F(t)$	0,13 $F(t)$
60	0,75 $F(t)$	0,06 $F(t)$
90	$F(t)$	0

3. Построение численной модели и анализ ветровой реакции
Структура сетки закрытия

3.1. Модель конечных элементов

Данное исследование посвящено изучению конструкции верхнего уплотнения, связанной с недавно построенной линией электропередачи 500 кВ. Конструкция герметизирующей сетки включает в себя несущие тросы, изолирующая канатная сеть, изолирующие стойки, пролетная рама, направляющие тросы, рычажные блоки, опорные блоки и наземные анкеры. Несущие тросы внутри уплотнительная сетка устанавливается на пролетную раму через опорные шкивы и крепится к заземление с помощью стальных тросов. Пролетная рама в первую очередь служит для фиксации и поддержку, оказывающую минимальное влияние на ветровое отклонение конструкции герметизирующей сетки. Следовательно, влияние пролетной рамы на ветровые прогибы уплотнителя не рассматривалась в данном исследовании. Кроме того, для удобства моделирования в этом исследовании не учитываются эффекты натяжения тросов, ручных подъемников, направляющих линий и грунтовые якоря на замыкании сети. Когда новая линия электропередачи пересечется с существующей линией во время строительства, промежуточная уплотнительная сетка не реализована с охватывающая рама. Вместо этого используется локальная схема запечатывающей сетки, и запечатывающая сетка занимает форма комбинации сетки и шестов. Несущие тросы подвешиваются на равные высоты.

3.1.1. Параметры модели конечных элементов

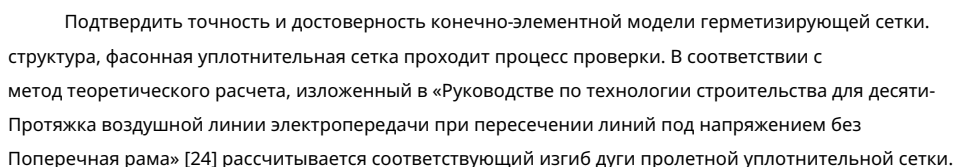
Параметры, связанные со структурой герметизирующей сетки, были рассчитаны на основе руководствуясь «Руководством по технологии строительства натяжной струны Воздушная линия электропередачи при пересечении линий под напряжением без поперечной рамки» [24]. Расчеты определили, что ловляя сеть имела длину 50 м и ширину 8 м. Несущие тросы были подвешены на высоте 30 м с обоих концов. В сети Для герметизации было установлено 10 изолирующих веревочных сеток размером 8x5 м каждая. Кроме того, в общей сложности 11 изолирующих стоек были расположены с интервалом 5 м внутри сетки.

уплотнительное устройство.

Таблица 4. Основные конструктивные параметры герметизирующей сетки.

Ключевые параметры моделирования

В конструкции уплотнительной сетки деформация значительна, когда она испытывает нагрузку из-за из-за его низкой жесткости. Поэтому необходимо найти уравнение равновесия для деформированное положение и найти подходящую форму [27]. Для этого плотность силы деформированное положение и найти подходящую форму [27]. Для этого плотность силы метод применяется при моделировании тюленевой сети [28]. Рисунок 5 иллюстрирует конечную модель элемента, полученная после нахождения формы. Рисунок 5 иллюстрирует конечную модель элемента, полученная после нахождения формы.



3.1.3. Проверка модели

Подтвердить точность и достоверность конечно-элементной модели герметизирующей сетки. структура, фасонная уплотнительная сетка проходит процесс проверки. В соответствии с метод теоретического расчета, изложенный в «Руководстве по технологии строительства на растяжение». Натягивание воздушной линии электропередачи при пересечении линий под напряжением без пересечения Рама» [24] рассчитывается соответствующий изгиб дуги пролетной уплотнительной сетки. Впоследствии результаты сравниваются с результатами, полученными в результате моделирования методом конечных элементов, чтобы обеспечить их согласованность.

В случаях, когда перепад высот связующего механизма равен нулю, дуга Провисание уплотнительной сетки измеряется в середине пролета. Учитывая, что спад дуги на уплотнительную сетку влияет несколько факторов, в том числе расстояние между пролетами, предварительное натяжение несущего троса, формы уплотнительной сетки и свойств материала, остальные переменные сохраняются постоянными. Изменяя расстояние между пролетами и учитывая предварительное натяжение кабеля герметизирующая сеть как независимая переменная, сравнительный анализ теоретических значения и результаты моделирования могут быть проведены.

(1) Расстояние между стойлами запечатавающей сетки регулируется, при этом расстояние между стойлами является переменным. и предварительное натяжение несущих канатов установлено на уровне 10 кН. Сравнение рассчитанных и теоретические значения спада дуги для различных расстояний между стойлами герметизирующей сетки равны представлены в таблице 5.

Таблица 5. Сравнение результатов расчета.

Передаточное число (м)	Расчетное значение (м) (а)	Теоретическое значение (м) (б)	Ошибка (%) ((б) (а))/(б)
100	2,56	2,64	3.03
150	4.36	4.59	5.01
200	6.19	6.54	5.35
250	8.04	8.57	6.18
300	9.91	10.58	6.33

На основании данных, представленных в таблице 5, можно сделать вывод, что изменение Расстояние срыва уплотнительной сетки приводит к минимальной ошибке между расчетными и теоретические значения моделирования конечно-элементной модели. Максимальная наблюдаемая ошибка составляет всего 6,33%, что указывает на надежность модели.

(2) Кроме того, изменяется предварительное натяжение несущего троса, сохраняя предварительное натяжение является переменной величиной и расстоянием 200 м между стойлами с герметизирующей сеткой. Затем проводится сравнение расчетных и теоретических значений предварительного натяжения. Также рассматривается взаимосвязь между провисанием дуги конструкции уплотнительной сетки и результаты суммированы в таблице 6.

Таблица 6. Сравнительная таблица результатов расчета.

Предварительное натяжение (кН)	Расчетное значение (м) (а)	Теоретическое значение (м) (б)	Ошибка (%) ((б) (а))/(б)
6	6,83	7,45	8.32
8	6,50	6,93	6.20
10	6,19	6,54	5.35
12	5,88	6,23	5.62
14	5,58	5,93	5.90

Из таблицы 6 можно сделать вывод, что при величине несущего кабеля предварительное натяжение отрегулировано, разница между расчетным значением и теоретическим значением результатов моделирования конечно-элементной модели ничтожно мало. Максимальная наблюдаемая ошибка составляет всего 8,32%, что свидетельствует о надежности модели.

3.2. Модальный анализ

Автоколебательные характеристики конструкции уплотняющей сетки анализируются с помощью Программное обеспечение АНАСИС. Поскольку модель структуры герметизирующей сети в данном исследовании обширна, Применяется модальный анализ блока Ланцоша [29]. В таблице 7 представлены результаты первого 10 автоколебательных частот и режимов вибрации, полученных без применения внешние силы и демпфирование.

Таблица 7. Характеристики частоты автоколебаний и характера колебаний уплотнительной конструкции.

Модальный номер заказа	f/Гц	Описание режима вибрации
1	0,183	Перекрыт в плоскости уплотнения
2	0,274	Уплотнения вывернуты из плоскости и виброизогнуты
3	0,557	Уплотнения вывернуты из плоскости и виброизогнуты
4	0,559	Перекрыт в плоскости уплотнения
5	1,011	Уплотнения вывернуты из плоскости и виброизогнуты
6	1,012	Перекрыт в плоскости уплотнения
7	1,456	Уплотнения вывернуты из плоскости и виброизогнуты
8	1,459	Перекрыт в плоскости уплотнения
9	1,837	Уплотнения вывернуты из плоскости и виброизогнуты
10	1,841	Перекрыт в плоскости уплотнения

Таблица показывает, что первые десять порядков частоты демонстрируют более быстрый рост. со значительной разницей. Уплотняющая сетка испытывает попеременное скручивание в обоих направлениях. направления в плоскости и вне плоскости, когда соседняя разность частот мала; однако в направлении вне плоскости он склонен к изгибу, вызванному вибрацией. Этот явление возникает из-за совместного влияния массы и жесткости конструкции на модальное характеристики структуры, при этом влияние массы относительно прямолинейно. На жесткость уплотняющей конструкции при растяжении в первую очередь влияют такие факторы, как натяжение несущих тросов, отношение вектора к пролету поверхности уплотнительной сетки и роль изоляционной прокладки. Поскольку конструкция уплотнительной сетки обладает высокой гибкостью, ее жесткость в первую очередь полагается на напряжение, что делает его очень чувствительным к изменениям параметров. влияет на жесткость. Следовательно, он подвержен изгибу и кручению, вызванным вибрацией.

3.3. Структурный метод конечных элементов, метод динамического анализа временной динамики

Для анализа динамических реакций, вызванных ветром, обычно используются два подхода. в структурах: метод частотной области и метод временной области. Время Метод домена особенно подходит для исследования динамического отклика нелинейных структурные системы. Поэтому в этом исследовании мы используем метод временной области для расчета. структурно-динамическая реакция. Этот подход предполагает использование специфических вибраций и **структурные модели и рассмотрение силовых характеристик компонентов.** Впоследствии уравнения движения постепенно интегрируются для получения временного значения. эволюция численного решения структурного ответа.

3.3.1. Переходный динамический анализ истории времени

Дифференциальное уравнение движения уплотнительной конструкции под действием ветровой нагрузки имеет вид:

$$[M] \cdot \ddot{x}(t) + [C] \cdot \dot{x}(t) + [K]\{x(t)\} = \{F(t)\}$$
 (8)

В формуле [M] — массовая матрица уплотнительной конструкции; [C] — демпфирование матрица; [K] – матрица жесткости, $\ddot{x}(t)$ и $\dot{x}(t)$ — ускорение, скорость, и векторы смещения конструкции соответственно; $\{F(t)\}$ — вектор ветровой нагрузки . которому подвергается конструкция.

Основываясь на конкретных характеристиках выбранной в данном исследовании конструкции ограждения, мы выбрали метод неявной интеграции в рамках подхода прямой интеграции для решение. Этот метод исключает необходимость преобразования координат движения.

уравнения и вместо этого выполняет численное интегрирование непосредственно, пошагово. Он дискретизирует время и вычисляет переменные отклика в каждом приращении времени, что позволяет определить структурный отклик посредством поэтапного интегрирования. Существует несколько известных неявных методов пошагового интегрирования, включая метод Вильсона, метод Ньюмарка, метод Гуртина и метод линейного ускорения. Для анализа динамической реакции конструкции ограждения, вызванной ветром, в этом исследовании мы использовали метод Ньюмарка-β. Этот метод дискретизирует время, предполагая закономерности изменения ускорения в течение периодов времени $t + \Delta t$ и $x(t)$ движения конструкции в определенный момент времени t и выполняя интегральные вычисления для получения выражений $\dot{x}(t + \Delta t)$ и $x(t + \Delta t)$. Включив их в дифференциальное уравнение движения (8), $\ddot{x}(t + \Delta t)$, $\dot{x}(t + \Delta t)$, получить решение уравнения движения в момент времени $t + \Delta t$.

Метод Ньюмарка-β представляет уравнение баланса движения за время $t + \Delta t$ следующим образом:

$$[M] \cdot \ddot{x}_{t+\Delta t} + [C] \cdot \dot{x}_{t+\Delta t} + [K] \cdot x_{t+\Delta t} = \{F\}_{t+\Delta t} \quad (9)$$

Полагая, что скорость и перемещение конструкции в момент времени $t + \Delta t$ выражаются следующим образом:

$$\dot{x}_{t+\Delta t} = \dot{x}_t + (1 - \gamma) \cdot \ddot{x}_t \cdot \Delta t + \gamma \cdot \ddot{x}_{t+\Delta t} \cdot \Delta t \quad (10)$$

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \Delta t \cdot \dot{x}_t + \frac{1}{2} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_t + (1 - 2\gamma) \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_{t+\Delta t} \quad (11)$$

Согласно уравнениям (10) и (11), скорость и ускорение в момент времени $t + \Delta t$ могут быть представлено перемещением в тот момент следующим образом:

$$\ddot{x}_{t+\Delta t} = \frac{x_{t+\Delta t} - x_t}{\Delta t^2} - \frac{\dot{x}_t}{\Delta t} - \frac{1}{2} \frac{\ddot{x}_t}{\Delta t} \quad (12)$$

$$\dot{x}_{t+\Delta t} = \frac{y x_{t+\Delta t} - x_t}{\Delta t} - \frac{y \dot{x}_t}{\Delta t} + (1 - \gamma) \cdot \ddot{x}_t + \gamma \cdot \ddot{x}_{t+\Delta t} \quad (13)$$

$$[K] \cdot x_{t+\Delta t} = \{F\}_{t+\Delta t} \quad (14)$$

$$[K] \cdot y = \frac{1}{\Delta t^2} [M] + \frac{1}{\Delta t} [C] + [K] \quad (15)$$

$$\{F\}_{t+\Delta t} = \{F\}_{t+\Delta t} + [M] \cdot \frac{1}{\Delta t^2} \beta \cdot \frac{1}{\Delta t} \dot{x}_t + (1 - \gamma) \cdot \ddot{x}_t + \gamma \cdot \ddot{x}_{t+\Delta t} \quad (16)$$

В уравнении значения управляющих параметров β и γ влияют на точность и устойчивость всего алгоритма. Когда γ принимается равным 1/2, алгоритм имеет точность второго порядка. При условии обеспечения точности алгоритма обычно принимают $\gamma = 1/2$ и $\beta = 1/4$.

3.3.2. Определение структурного демпфирования

Характеристики рассеивания энергии конструкций во время вибрационных процессов являются важным аспектом при анализе проблем, связанных с динамическими реакциями конструкций. В настоящее время эти характеристики обычно оценивают по демпфирующим характеристикам конструкции. Демпфирующее воздействие на конструкции состоит в основном из двух компонентов: структурного демпфирования и вязкостного демпфирования. На величину демпфирования конструкции влияют внутренние факторы, такие как трение и гистерезис внутри конструкции. С другой стороны, вязкое демпфирование возникает из-за трения воздуха при колебаниях конструкции и прямо пропорционально скорости колебаний конструкции. В практических инженерных приложениях обычно рассматривается вязкое демпфирование, а в программе конечных элементов ANSYS — различные формы

можно определить вязкое демпфирование. Широко используемая модель демпфирования Рэлея выражается уравнением матрицы демпфирования следующим образом:

Здания 2023, 13, x НА ЭКСПЕРТНУЮ ЭКСПЕРТИЗУ

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K]$$

14 из 34
(17)

В формуле [C] — матрица демпфирования Рэлея, а α и β — массовые демпфирования. коэффициент и коэффициент жесткости демпфирования соответственно. Эти два коэффициента демпфирования 2(можно определить по следующим двум формулам:

$$\alpha = \frac{2\omega_i \omega_j (\xi_i \omega_j - \xi_j \omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2}$$

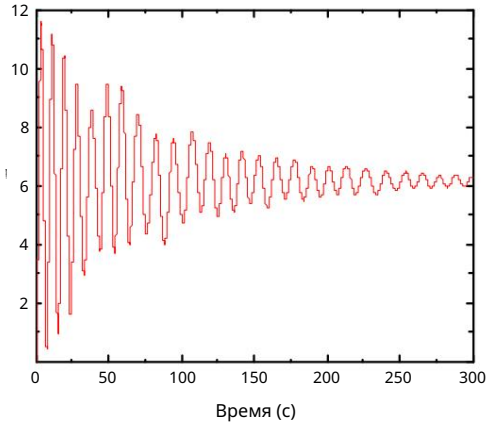
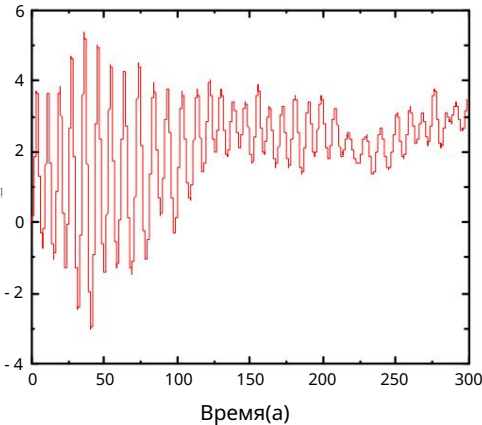
(18)

В уравнении порядки и представляют собой собственные частоты i и j

структуры соответственно while и $2(\xi_i \omega_j - \xi_j \omega_i)$, соответственно, представляют модальный коэффициент затухания i-го и j-го порядков конструкции. Коэффициент демпфирования кабеля структур в целом можно принять за 0,02.

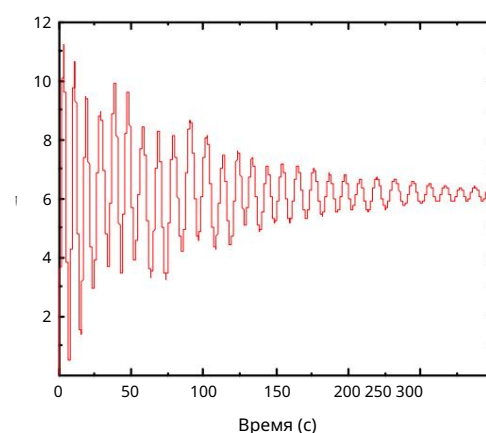
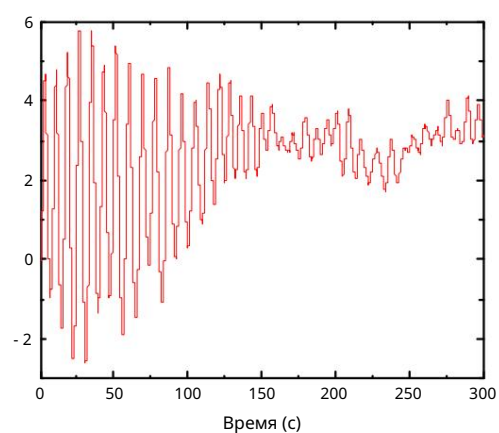
В уравнении ω_i и ω_j представляют собой собственные частоты i-го и j- порядков структуры соответственно, а ξ_i и ξ_j соответственно представляют собой модальные коэффициенты демпфирования i-й и j- порядков структуры. Коэффициент демпфирования вантовых конструкций обычно может быть равен 0,02. Чтобы исследовать реакцию на вибрацию конструкции герметизирующей сетки, вызванную ветром, При различных направлениях ветра в данном исследовании рассматриваются четыре угла ветра: 30 градусов, 45 градусов, 60 градусов и 90 градусов (от направления ветра в направлении 0 градусов, поворот). Задача исследования заключается в том, чтобы определить реакцию на вибрацию конструкции герметизирующей сетки при воздействии ветровой нагрузки по часовой стрелке, как показано на рисунке 5. Численный процесс предполагает, что нагрузка составляет 10 кН, а для установки герметизирующей сетки предполагается скорость ветра 10 м/с [30]. Расстояние между перекладинами установлено 200 мм, с вращением оси X равным 0 градусам, вращение вращательной сетки на нагрузку на конструкции. Численный процесс предполагает, что нагрузка составляет 10 кН, а для установки герметизирующей сетки предполагается скорость 10 м/с [30]. Расстояние между

перекладинами установлена на 200 мм. К выбранной нагрузке применяется имитация пульсирующей ветровой нагрузки. Два конца конструкции уплотнительной сетки зафиксированы, и при воздействии ветровой нагрузки точку на конструкции уплотнительной сетки для анализа ее реакции на вибрацию по горизонтали ее можно упростить как равномерную силу. Учитывая ограничения структура уплотнительной сетки и распределение силы, смещение среднего пролета уплотнения по горизонтали ее можно упростить как равномерную силу. Учитывая ограничения чистая структура, как известно, является самой большой. Чтобы обеспечить более наглядное представление о тенденции смещения уплотнительной сетки и напряжения на концах несущих тросов в чистая структура, как известно, является самой большой. Чтобы обеспечить более наглядное представление о все направления во времени для разных углов ветра, временные диаграммы среднего пролета тенденции смещения уплотнительной сетки и напряжения на концах несущих тросов в все направления во времени для разных углов ветра, временные диаграммы среднего пролета смещения соответствующей конструкции уплотнительной сетки нанесены на график, как показано на рисунке. 6. Аналогично представлены временные диаграммы напряжений на концах несущих тросов. Аналогично показаны временные диаграммы напряжений на концах несущих тросов. на рисунке 7.

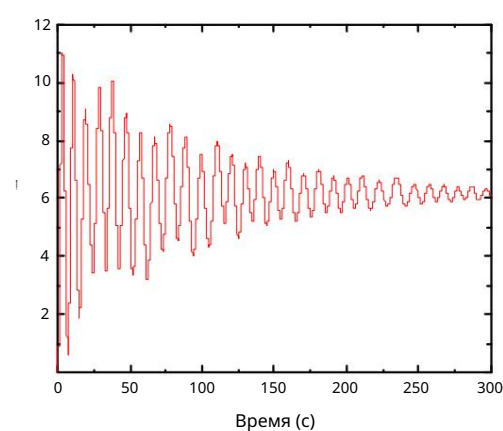
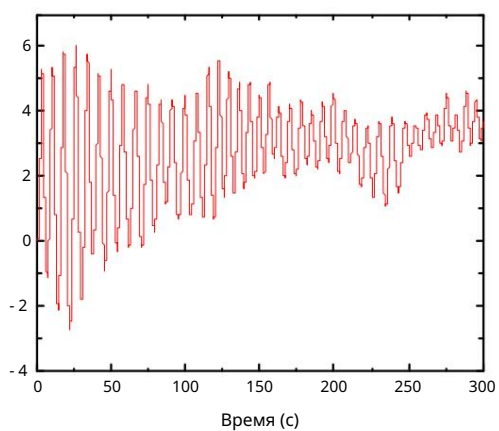


а) Угол ветра 30 градусов.

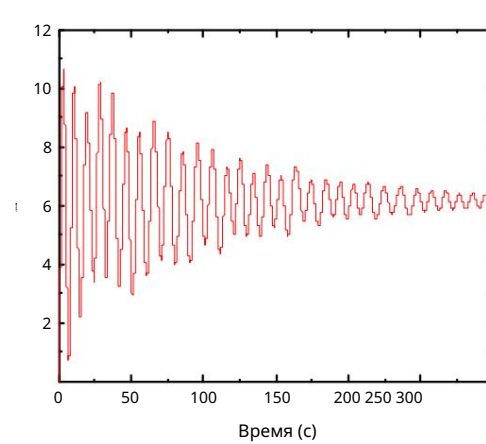
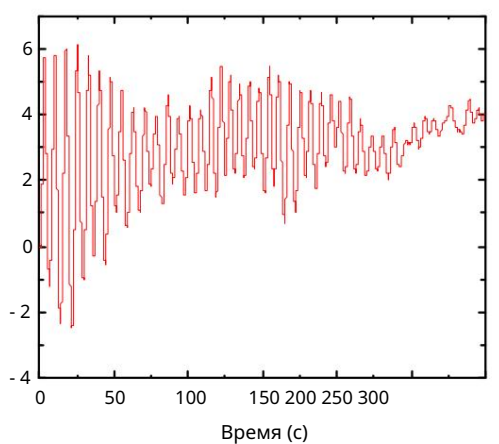
Рисунок 6. Продолжение.



(б) Угол ветра 45 градусов.



(с) Угол ветра 60 градусов.



(d) Угол ветра 90 градусов.

Рисунок 6. Временная диаграмма смещений между пролетами при различных направлениях ветра для уплотнения
Рис. 6. Временная диаграмма межпролетных перемещений при различных направлениях ветра для герметизации
ние сетевой структуры.
сетчатая структура.

Согласно рисунку 6, при базовой скорости ветра 10 м/с и пролете 200 м, ветровое смещение уплотняющей конструкции уменьшается как в горизонтальном, так и в горизонтальном направлении. и вертикальном направлениях. В частности, амплитуда колебаний герметизирующей сетки в горизонтальное направление постепенно уменьшается, в конечном итоге проявляя случайные вибрации внутри

определенный диапазон. С другой стороны, амплитуда колебаний в вертикальном направлении стремится сходиться к определенному значению. Это является следствием взаимодействия структурных вибрация, трение воздуха и вязкость материала, что постепенно рассеивает энергию и снижает амплитуда колебаний. Рисунок 7 показывает, что максимальное напряжение в конце несущий трос происходит на начальном этапе нагружения. По мере увеличения времени загрузки стресс постепенно стабилизируется. Это связано с тем, что на начальном этапе нагрузки подшипник Кабель испытывает значительную внешнюю силу, приводящую к наибольшему значению напряжения. Через некоторое время, кабель постепенно адаптируется к этой внешней нагрузке и подвергается упругой деформации, вызывая стресс уменьшиться. Как только кабель адаптируется к внешней нагрузке и достигнет стабильного состояния состояния напряжение уже не претерпевает существенных изменений, и кривая имеет тенденцию к стабилизации.

Здания 2023, 13, х НА ЭКСПЕРТНУЮ ЭКСПЕРТИЗУ РЕАКЦИЮ НАПРЯЖЕНИЯ НА КОНЦЕ НЕСУЩЕГО ТРОСА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАГРУЗКАХ, 16 из 34

можно сделать вывод, что более высокое предварительное натяжение, приложенное к несущему тросу, приводит к большему напряжению. **В конце.**

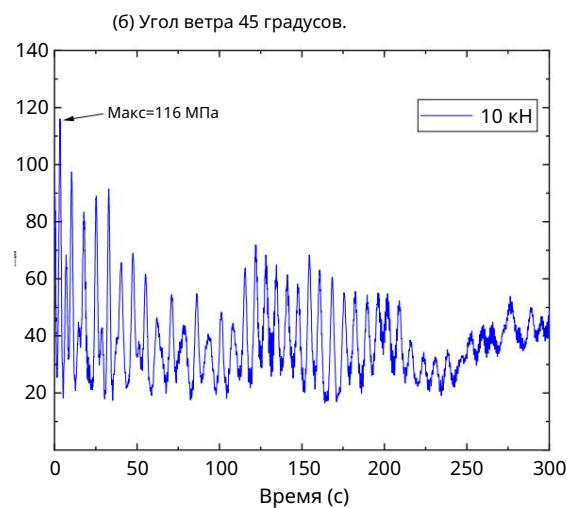
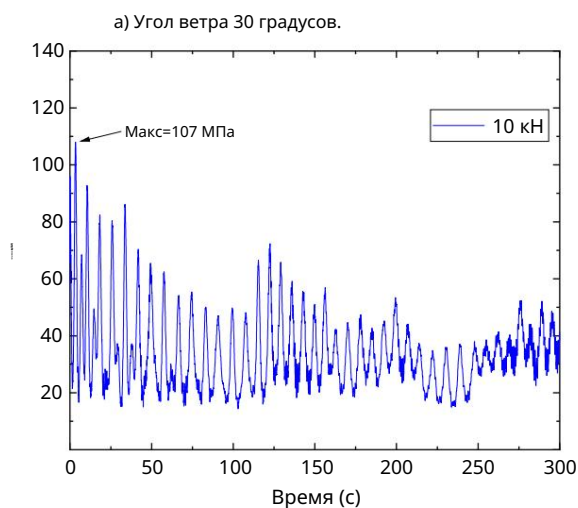
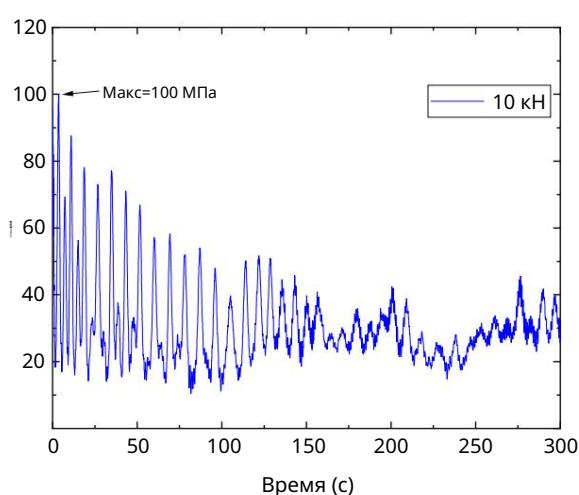
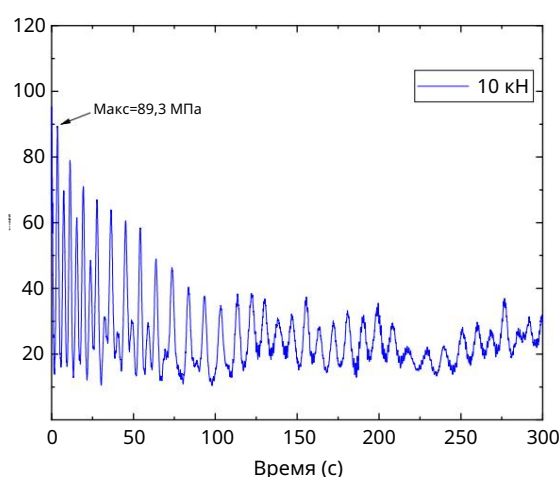


Рисунок 7. Динамика напряжения на конце герметизирующей сетки при различных направлениях ветра. Рисунок 7. Динамика напряжения на конце герметизирующей сетки при различных направлениях ветра.

Сравнение результатов между базовой схемой ветра 10 м/с и пролетом 200 м с предварительным натяжением. В процессе конструкции запечатывающей сетки при различных углах ветра полученные данные были организованы, как показано на рисунке 8. Анализ показал, что амплитуда колебаний, тем не менее, не показывает отношения между горизонтальное направление постепенно уменьшается, в конечном итоге проявляя случайные вибрации. На этом этапе несущий трос испытывает значительную внешнюю силу, что приводит к высокой расчетное значение стресса. Со временем кабель постепенно адаптируется к этой внешней нагрузке и под-

между напряжением и предварительным натяжением на конце конструкции уплотнительной сетки под разными углами ветра.

ветра Здания №22, напряжением и предварительным напряжением на конце конструкции уплотнительной сетки при различных углах

16 из 33

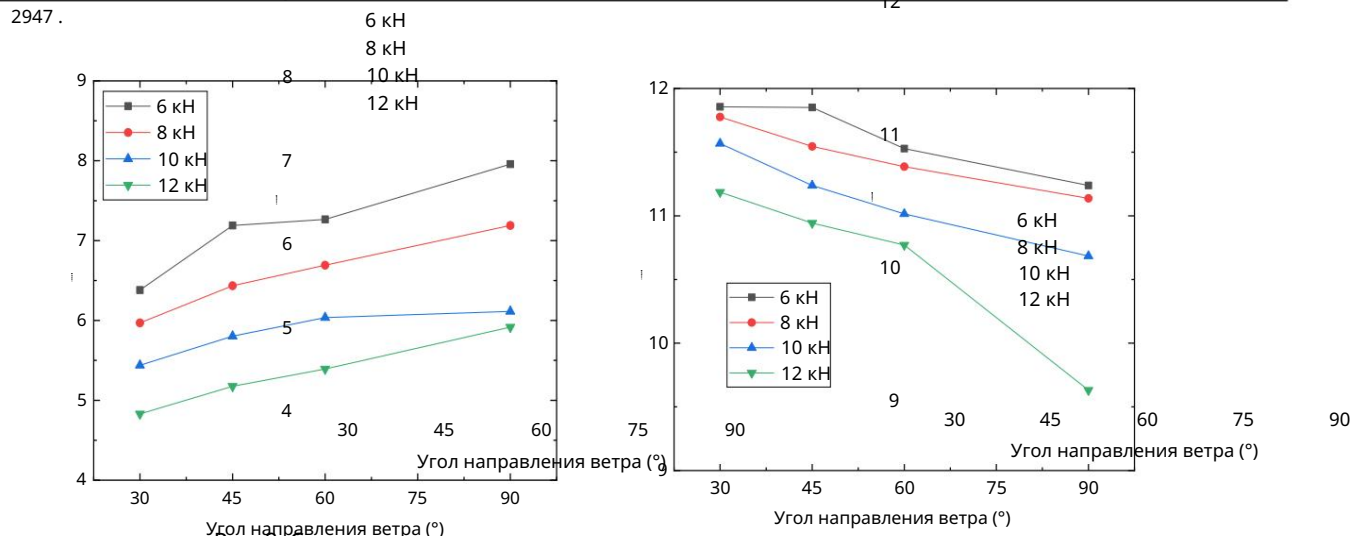


Рис. 8. Сравнение кривых ветрового отклонения и предварительного натяжения в пролете односкатных сетей при различных углах ветра.

Рисунок 8. Сравнение кривых смещения и предварительного натяжения в пролете герметизации ловля сетей под разными углами ветра.

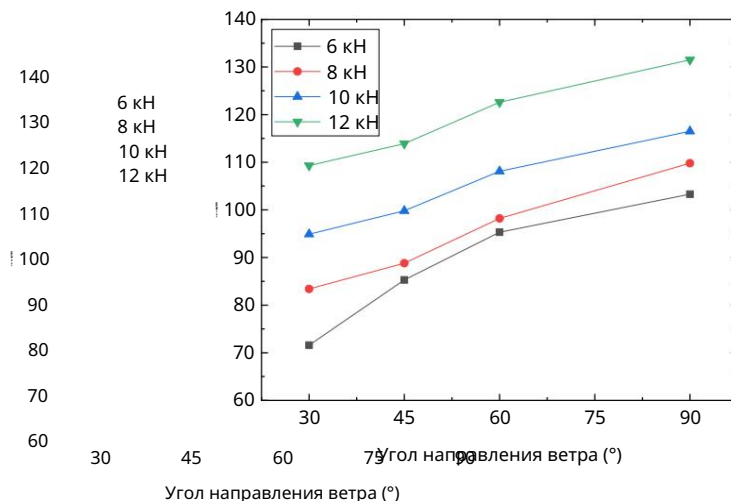


Рисунок 9. Сравнение кривых концевое напряжения и предварительного натяжения герметизирующих сеток при различных углах ветра.

Рисунок 9. Сравнение кривых конечного напряжения и предварительного натяжения запечатывающих сеток при разном направлении ветра. Очевидно, что запечатывающая сетка испытывает значительные отклонения как при различных направлениях ветра, горизонтальном и вертикальном, при различных углах ветра. Отклонение ветра исчезает.

[illegible]

конец несущего троса Лолиты, оно по-прежнему остается значительно ниже порога разрушительного натяжения, что обеспечивает работу на номинальном диапазоне удельных нагрузок. Старый, гарантируя, что несущий трос работает в безопасном диапазоне напряжений, подтверждает смещения в середине троса, которые не превышают установленных значений. Среднее значение составляет от 100 до 300 м и менее [31]. Следовательно, расстояние от основания башни до точки крепления троса становится очевидным, что наиболее неблагоприятный угол ветра для конструкции термизирующей Структура сети составляет 90 градусов.

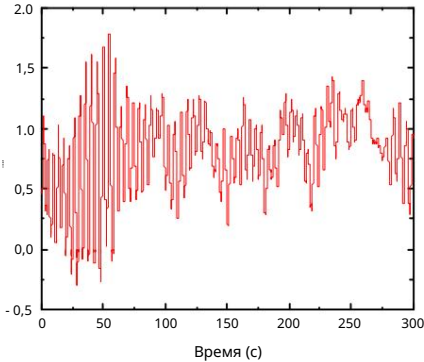
3.5. Анализ ветровой реакции уплотнительной сетки при изменении шага шестерни

Здания 2023, 13, 2947 г.

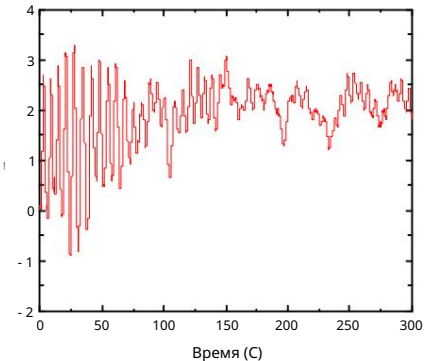
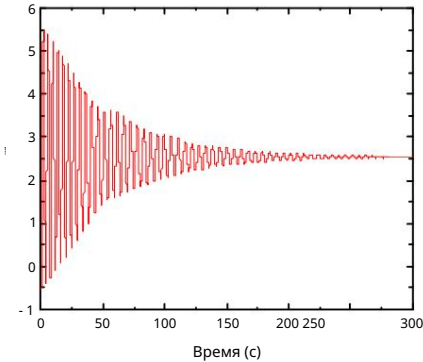
Согласно приведенным данным, выбор расстояния между пролетами уплотнительной сетки варьируется в зависимости от

17 из 33

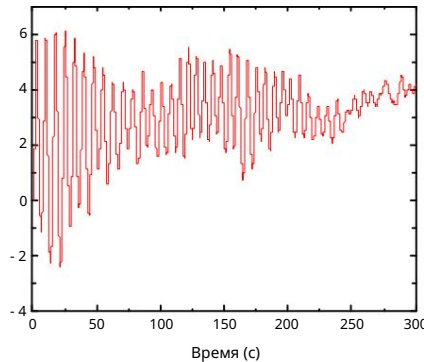
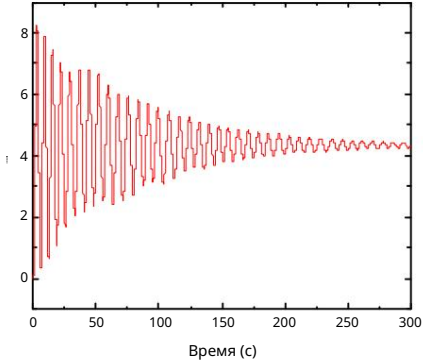
разные линии передачи. В реальной конструкции выбранное расстояние пролета для
Длина запечатывающей сети обычно составляет от 100 до 300 м или менее [31]. Следовательно, расстояние пролета
при анализе колеблется от 100 до 300 м с шагом 50 м. Скорость ветра
выбрана скорость 10 м/с и угол ветра 90 градусов как наиболее неблагоприятное условие.
и натяжение кабеля 10 кН для анализа реакции вибрации, вызванной ветром.
ответ. Смещение во времени в пределах соответствующей конструкции уплотнительной сетки.
представлена на рисунке 10, а напряжение во времени на концах несущей конструкции
на рисунке 10, при этом отображены напряжения во времени на концах несущих тросов
на рисунке 11.



(a) Расстояние передачи 100 м



(b) Расстояние передачи 150 м



(c) Расстояние передачи 200 м

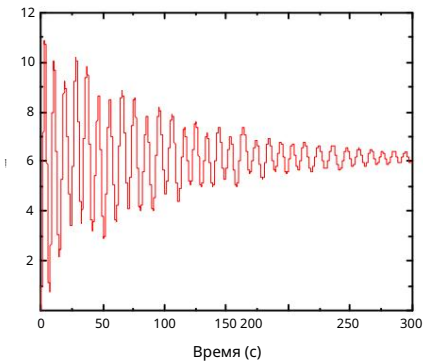


Рисунок 10. Продолжение.

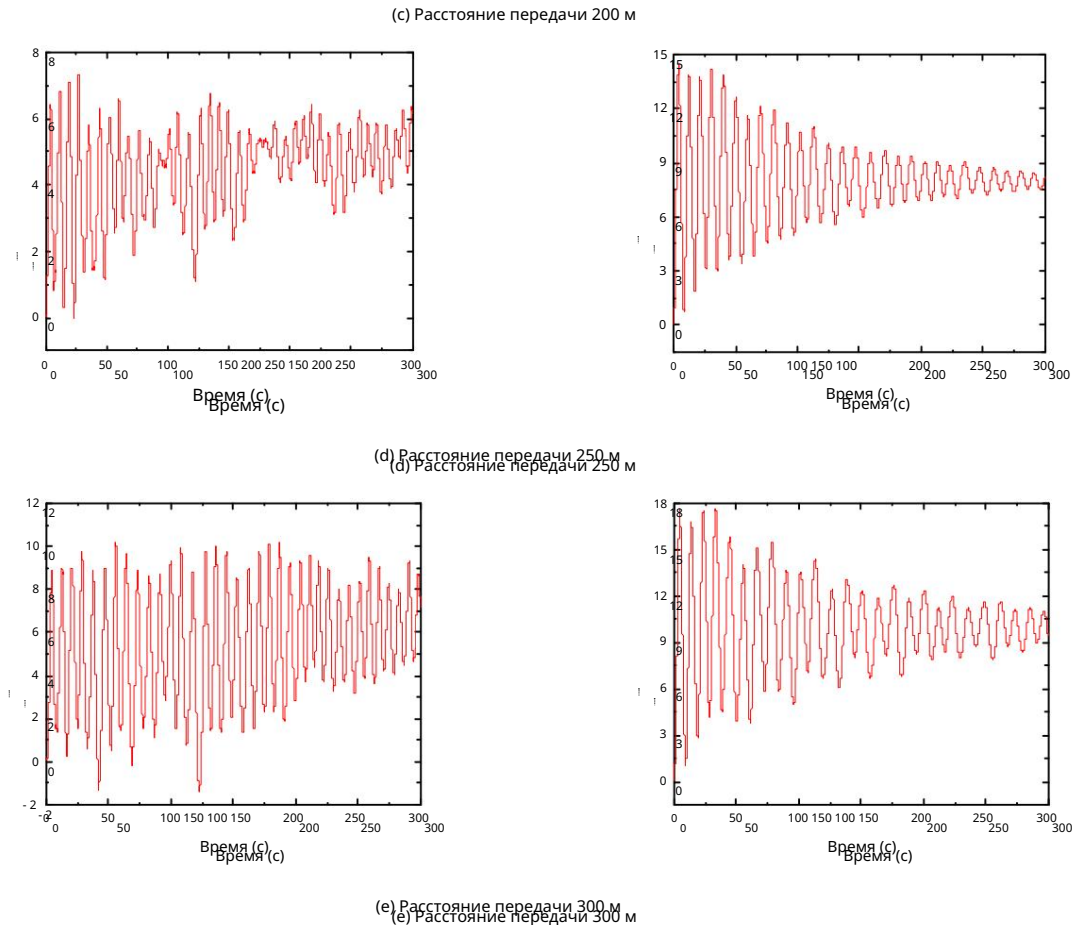


Рис. 10. Временная диаграмма смещений при различных шагах зубчатой сетки.

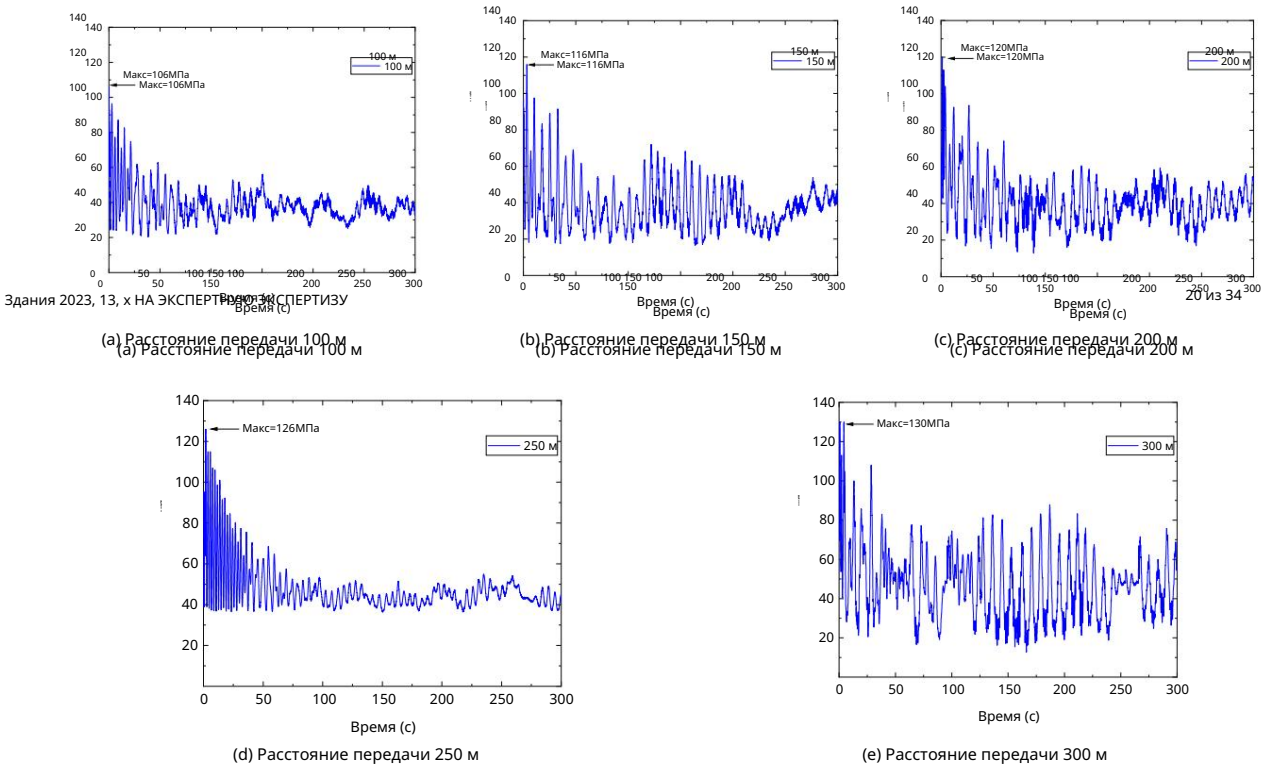


Рисунок 11. Динамика напряжений на концах несущих тросов с различным шагом зубчатых колес.

На основании анализа рисунков 10 и 11 можно заметить, что при предварительном
Скорость ветра составляет 10 м/с, угол направления ветра 90 градусов, горизонтальное направление.
Колебания запечатывающей сетки уменьшаются по амплитуде и в конечном итоге достигают устойчивого уровня.
диапазон. В вертикальном направлении колебание стремится к определенной величине. Макси-
минимальное напряжение на конце троса герметизирующей сетки возникает в течение 5 с перед
приложение к конструкции переменной ветровой нагрузки. Более того, с прохождением

Рисунок 11. Динамика напряжений на концах несущих тросов с различным шагом зубчатых колес.

На основе анализа рисунков 10 и 11 можно заметить, что при скорости ветра 10 м/с и угле направления ветра 90 градусов h

Колебания тросовой сети уменьшаются по амплитуде и в конечном итоге достигают. Основываясь на анализе рисунков 10 и 11, можно заметить, что при преобладающей диагонали ветра в 90 градусов и колебаниях стропила на определенной величине. Скорость ветра 10 м/с амплитуда запечатывающей сети уменьшается и в конечном итоге достигает устойчивого диапазона. Максимальное напряжение на конце троса герметизирующей сетки возникает в течение 3 с в вертикальном направлении, колебания стремятся к определенной величине. Максимальное напряжение в приложении к конструкции переменной ветровой нагрузки. Причем при этом окончание троса герметизирующей сетки происходит за 5 с до применения троса. Переменная ветровая нагрузка на конструкцию. Более того, с течением времени значение напряжения постепенно стабилизируется в пределах определенного диапазона. После организации расчетных данных на рисунке 12 представлена постепенная стабилизация в пределах определенного диапазона. Кривые смещения уплотняющей конструкции для разных пролетов. Кроме того, после организации расчетных кривые смещения уплотняющей конструкции для разных пролетов. Кроме того, таблица 8 предоставляет информацию о напряжениях на конце уплотняющей конструкции в виде предоставляет информацию о напряжениях на конце уплотняющей конструкции, связанных с различными пролетами.

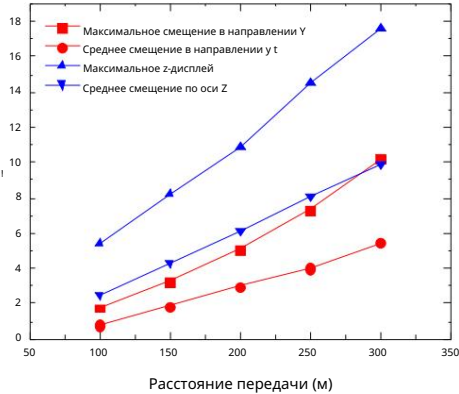


Рис. 12. Изменение смещения уплотнительной конструкции при разном расстоянии друг от друга.

Таблица 8. Напряжения на конце уплотняющей сетки при различных пролетах.

Расстояние между манометрами (м)		Максимальное напряжение (МПа)		Среднее значение напряжения (МПа)	
100		106,3		38,0	
Расстояние между манометрами (м)		Максимальное напряжение (МПа)		Среднее значение напряжения	
150		116,0		38,5	
200	100	119,8	106,3	40,5	38,0
250	50	125,7	116,0	46,9	38,5
300		129,6		47,2	
200		119,8		40,5	
250		125,7 46,9			
300		129,6 47,2			

Рисунок 12 иллюстрирует значительные перемещения ветра как по горизонтали, так и по вертикали. направления уплотнительной сетки. Величины этих смещений возрастают с увеличением расстояние между стойлами, что указывает на значительное влияние изменений расстояния между стойлами на плотность запечатывающей сетки.

ветровое смещение. Вертикальные смещения варьируются от 100 м до 300 м шага. С 50 м. Рисунок 12 иллюстрирует значительные ветровые смещения как при горизонтальном увеличении шага, так и при максимальном смещении уплотняющей сетки между пролетами, которое увеличивается на тические направления уплотняющей сетки. Величина этих смещений увеличивается на 2,108 м по горизонтали и 3,030 м по вертикали. Этот вывод подчеркивает значительное влияние изменение расстояния между стойлами сетки, вызванное значительное влияние изменения шага между стойлами на плотность запечатывающей сетки. Ветер также приводит к увеличению шага между стойлами. Таблица 8 охватывающие поля. Этот эффект обусловлен увеличением длины несущего троса, подача. При увеличении шага на 50 м максимальное смещение между пролетами приводит к увеличению общей массы уплотняющей конструкции. При этом ветровая нагрузка на уплотнительную структуру генерирует повышенную совокупную силу, что приводит к более высокому напряжению при конец несущего троса. На расстоянии 300 м пиковое напряжение достигает примерно 129,6 МПа, с коэффициентом запаса 9,67, что указывает на сохранение напряжения в пределах безопасного диапазона.

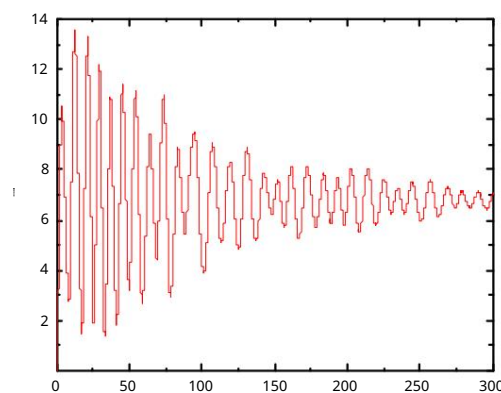
Следовательно, смещение ветром и напряжение в каждом восходящем направлении уплотнения Структура сети увеличивается с увеличением расстояния между шестернями. Во время строительства ВЛ рекомендуется выбирать меньшие зубчатые расстояния для герметизации сетки к свести к минимуму смещение ветром и нагрузку на конструкцию уплотнительной сетки, обеспечивая безопасность.

Здания 2023. 13. 2947 г.

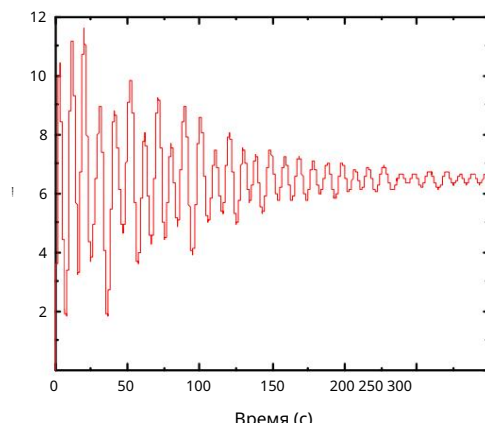
20 из 33

Натяжение несущих тросов

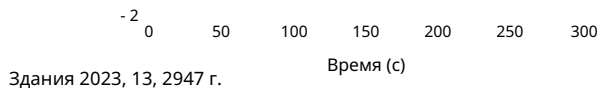
13. Напряжение Временная диаграмма несущего конца троса конструкции герметизирующей сетки показана на рисунке 14.



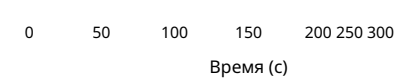
(а) Предварительное натяжение несущих тросов усилием 6 кН



(б) Предварительное натяжение несущих тросов усилием 8 кН.

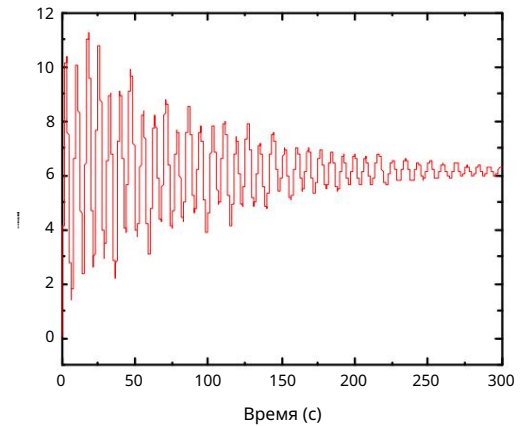
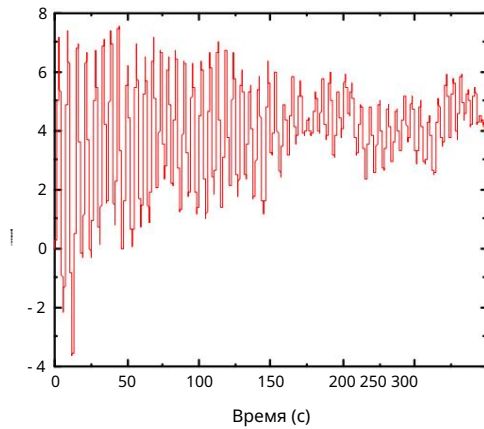


Здания 2023, 13, 2947 г.

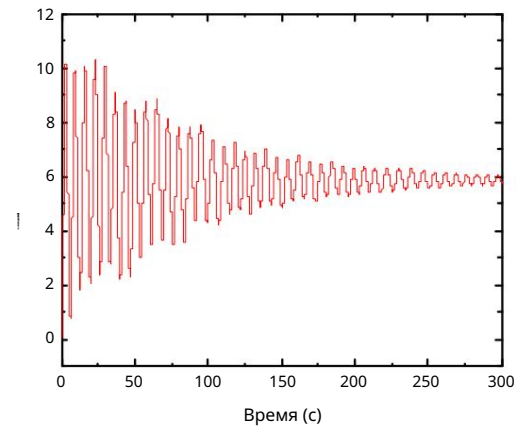
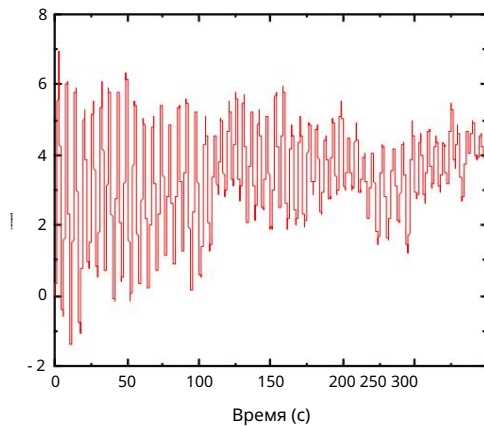


21 из 33

(б) Предварительное натяжение несущих тросов усилием 8 кН.



(с) Предварительное натяжение несущих тросов усилием 10 кН.



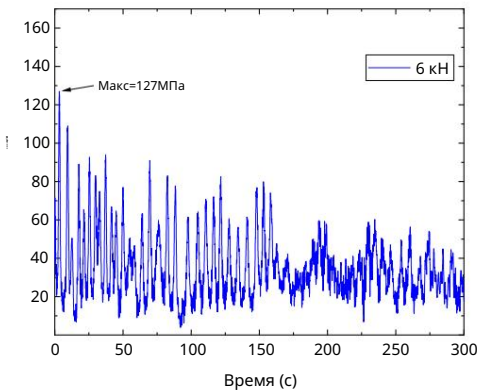
(д) Предварительное натяжение несущих тросов усилием 12 кН.

Рис. 13. Динамика смещений несущих тросов в середине пролета при различных натяжениях при угле ветра 90 градусов.

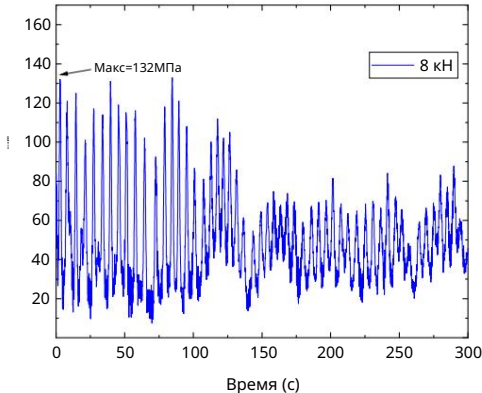
На основании анализа рисунков 13 и 14 можно заметить, что амплитуда горизонтальных колебаний герметизирующей сетки постепенно уменьшается и в конечном итоге начинает беспорядочно вибрировать в определенном диапазоне при угле ветра 90 градусов и расстоянии сваливания 200 м.

Амплитуда вертикальных колебаний имеет тенденцию стабилизироваться на определенном значении. Максимальный стресс на конце несущего троса происходит на начальном этапе нагружения и по мере время загрузки увеличивается, напряжение постепенно стабилизируется. Анализ реакции на стресс в конце несущего троса для различных предварительных натяжений, можно сделать вывод, что более высокое предварительное натяжение уровни приводят к увеличению напряжения на конце кабеля. В частности, при натяжении 12 кН прикладывается к несущему кабелю, пиковое напряжение составляет примерно 161 МПа, что обеспечивает безопасность коэффициент 7,8. Таким образом, напряжение в несущем тросе остается в безопасном диапазоне.

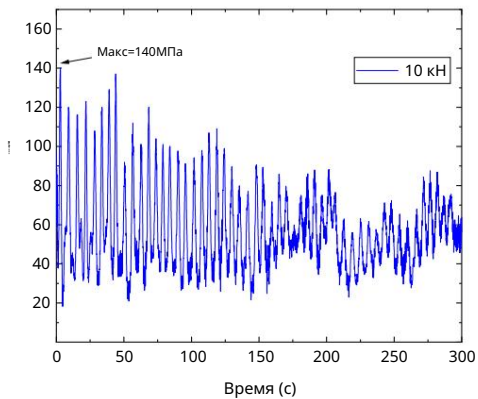
С учетом расчетных данных построены кривые зависимости ветрового отклонения кривые смещения и предварительного натяжения в середине пролета уплотняющей сетки получаются по формуле показано на рисунке 15. Напряжение на конце уплотняющей конструкции показано на рисунке 16.



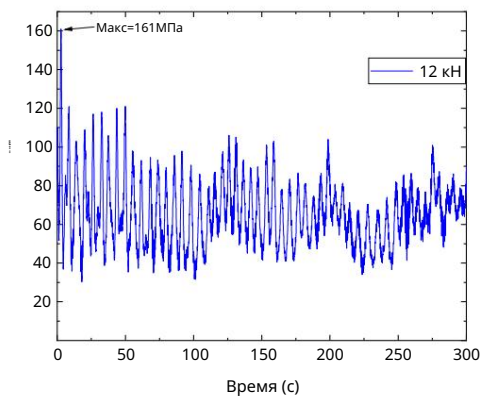
(а) Предварительное натяжение несущих тросов усилием 6 кН.



(б) Предварительное натяжение несущих тросов усилием 8 кН.



(с) Предварительное натяжение несущих тросов усилием 10 кН.



(д) Предварительное натяжение несущих тросов усилием 12 кН.

Рисунок 14. Динамика напряжения на конце несущего троса при различных нагрузках и угле ветра 90 градусов.

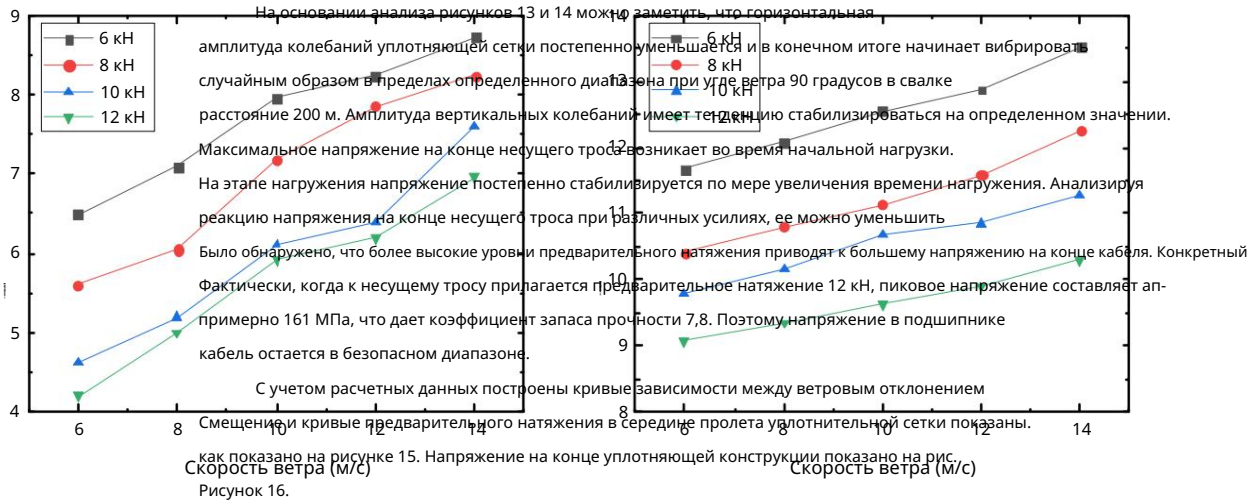
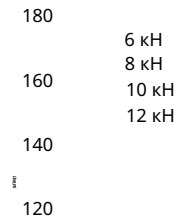


Рис. 15. Сравнение кривых ветрового отклонения и предварительного натяжения на пролете уплотнительная сетка с различными углами ветра и натяжением несущего троса.



Здания 2023, 13, 2947 г.

Рисунок 15. Сравнение кривых смещения и предварительного натяжения ветрового отклонения в пролете уплотняющей сетки при различных углах ветра и натяжениях несущих тросов.

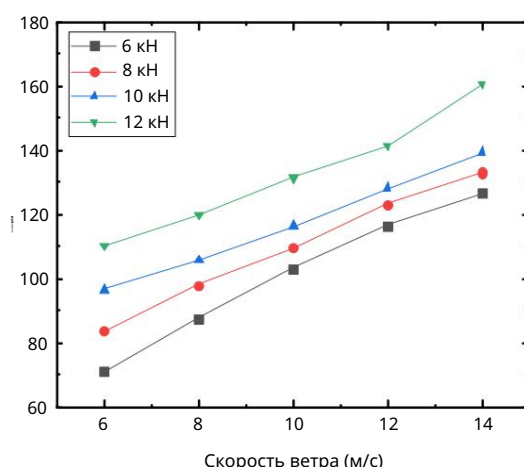


Рисунок 16. Сравнение напряжения на конце уплотняющей сетки с кривой предварительного натяжения при различных

Рисунок 16. Сравнение напряжения на конце уплотняющей сетки с кривой предварительного натяжения при различных углах ветра и натяжениях несущих тросов.

Согласно рисункам 15 и 16, ветровое отклонение герметизирующей сетки увеличивается в обоих случаях.

горизонтальном и вертикальном направлениях с более высоким предварительным натяжением несущих канатов и Согласно рисункам 15 и 16, отклонение герметизирующей сетки ветром увеличивает скорость ветра. Кроме того, наблюдается заметное увеличение концевых напряжений, что указывает на то, что как горизонтальное, так и вертикальное направления с более высоким предварительным натяжением медведя предварительное натяжение несущих тросов и скорость ветра существенно влияют на ветровое отклонение веревки и скорость ветра. Кроме того, наблюдается заметное увеличение концевых напряжений, т.е.

Увеличение скорости ветра и предварительного натяжения несущих тросов существенно влияют на увеличение, ветровые перемещения

ветровое отклонение и вертикальное направление. И наоборот, увеличение базовой скорости ветра приводит к увеличению ветровых

перемещений конструкции уплотняющей сетки в

увеличивается несущая нагрузка тросов, ветровые отклонения смещают уплотнение как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Если рассматривать скорость ветра как переменную величину, то уменьшение структуры как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

Смещение от отклонения ветром и напряжения герметизирующей сетки имеют приблизительно линейную зависимость.

при базовой скорости ветра приводит к увеличению ветровых отклонений в зависимости от скорости ветра. Максимальное смещение и напряжение при отклонении от ветра

структура уплотнительной сетки как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Учитывая w

скорости как переменную, смещение от отклонения ветром и напряжения герметизирующей сетки

Эта зависимость линейная, зависимость от скорости ветра. Максимальное значение 131,2% от такового при

предварительное натяжение несущего троса – 6 кН. Несмотря на усиление стресса в конце

Смещение и напряжения возникают, когда базовая скорость ветра составляет 14 м/с. Аналогичным образом, герметизирующая

несущую сеть сетку, она остается в пределах безопасного диапазона. Максимальные ветровые отклонения и напряжения возникают при предварительном натяжении Однако, когда скорость

ветра ниже 10 м/с (допустимая скорость ветра для несущих кабелей составляет 14 м/с). При предварительном натяжении несущего троса 12 кН строительство и монтаж

напряжения составляет 131,2% от такового при предварительном натяжении несущего троса 6 кН. Несмотря на усиление стресса в конце

концевых напряжений, что указывает на то, что как горизонтальное, так и вертикальное направления с более высоким предварительным натяжением медведя предварительное натяжение несущих тросов и скорость ветра существенно влияют на ветровое отклонение

увеличивается несущая нагрузка тросов, ветровые отклонения смещают уплотнение как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Если рассматривать скорость ветра как переменную величину, то уменьшение структуры как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

Смещение от отклонения ветром и напряжения герметизирующей сетки имеют приблизительно линейную зависимость.

при базовой скорости ветра приводит к увеличению ветровых отклонений в зависимости от скорости ветра. Максимальное смещение и напряжение при отклонении от ветра

структура уплотнительной сетки как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Учитывая w

скорости как переменную, смещение от отклонения ветром и напряжения герметизирующей сетки

Эта зависимость линейная, зависимость от скорости ветра. Максимальное значение 131,2% от такового при

предварительное натяжение несущего троса – 6 кН. Несмотря на усиление стресса в конце

Смещение и напряжения возникают, когда базовая скорость ветра составляет 14 м/с. Аналогичным образом, герметизирующая

несущую сеть сетку, она остается в пределах безопасного диапазона. Максимальные ветровые отклонения и напряжения возникают при предварительном натяжении Однако, когда скорость

ветра ниже 10 м/с (допустимая скорость ветра для несущих кабелей составляет 14 м/с). При предварительном натяжении несущего троса 12 кН строительство и монтаж

напряжения составляет 131,2% от такового при предварительном натяжении несущего троса 6 кН. Несмотря на усиление стресса в конце

концевых напряжений, что указывает на то, что как горизонтальное, так и вертикальное направления с более высоким предварительным натяжением медведя предварительное натяжение несущих тросов и скорость ветра существенно влияют на ветровое отклонение

увеличивается несущая нагрузка тросов, ветровые отклонения смещают уплотнение как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Если рассматривать скорость ветра как переменную величину, то уменьшение структуры как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

Смещение от отклонения ветром и напряжения герметизирующей сетки имеют приблизительно линейную зависимость.

при базовой скорости ветра приводит к увеличению ветровых отклонений в зависимости от скорости ветра. Максимальное смещение и напряжение при отклонении от ветра

структура уплотнительной сетки как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Учитывая w

скорости как переменную, смещение от отклонения ветром и напряжения герметизирующей сетки

Эта зависимость линейная, зависимость от скорости ветра. Максимальное значение 131,2% от такового при

предварительное натяжение несущего троса – 6 кН. Несмотря на усиление стресса в конце

Смещение и напряжения возникают, когда базовая скорость ветра составляет 14 м/с. Аналогичным образом, герметизирующая

несущую сеть сетку, она остается в пределах безопасного диапазона. Максимальные ветровые отклонения и напряжения возникают при предварительном натяжении Однако, когда скорость

ветра ниже 10 м/с (допустимая скорость ветра для несущих кабелей составляет 14 м/с). При предварительном натяжении несущего троса 12 кН строительство и монтаж

напряжения составляет 131,2% от такового при предварительном натяжении несущего троса 6 кН. Несмотря на усиление стресса в конце

трос на ветровое отклонение конструкции данного типа. Результаты этого исследования предоставят ценную теоретическую информацию для эффективного контроля отклонения ветра в таких условиях.

структуры. реакция герметизирующей сетки, если рассматривать угол между кабелем и землей как переменную величину. Сравнительный анализ проводится при различных скоростях ветра и углах направления ветра с целью комплексной оценки влияния троса на ветровое отклонение

расположение троса для контроля ветрового отклонения конструкции этого типа. Результаты этого исследования предоставят ценную теоретическую информацию. Существует множество методов предотвращения смещения ветрового отклонения поперек уплотняющей сетки. Из предыдущего исследования можно сделать вывод, что смещение ветрового отклонения в запечатывающей сети можно предотвратить за счет уменьшения шага запечатывающей сетки. Существует множество методов предотвращения смещения ветрового отклонения поперек запечатывающей сетки, увеличивая предварительное натяжение запечатывающей сетки. Несущие тросы. Однако эффект ингибирования является двояким: из предыдущего исследования можно сделать вывод, что смещение ветрового отклонения крайне ограничено и не удовлетворяет требованиям безопасности реального строительства. В герметизирующей сетке можно предотвратить, уменьшив шаг герметизирующей сетки и увеличив ее. Отклонение герметизирующей сетки ветром можно эффективно подавить, придав предварительное натяжение несущим кабелям. Однако эффект ингибирования крайне ограничен, т.к. кабели прилегают к несущим кабелям конструкции герметизирующей сетки. Натяжные тросы установлены на месте, что не соответствует требованиям безопасности реальной конструкции. Отклонение ветром четырех углов изолированной сетки, как показано на рисунках 17 и 18: Стяжные тросы, входящие в состав уплотняющей сетки, можно эффективно подавить, прикрепляя к земле или к другим тросам, заземленным анкерам в противоположных углах, как показано на рисунках 17 и 18. Стяжные тросы, входящие в состав уплотняющей сетки, можно эффективно подавить, прикрепляя к земле или к другим тросам, заземленным анкерам в противоположных углах, как показано на рисунках 17 и 18.

другом конце. на другом конце. кабели на одном конце и закреплены на земле с помощью заземляющих анкеров на другом конце.

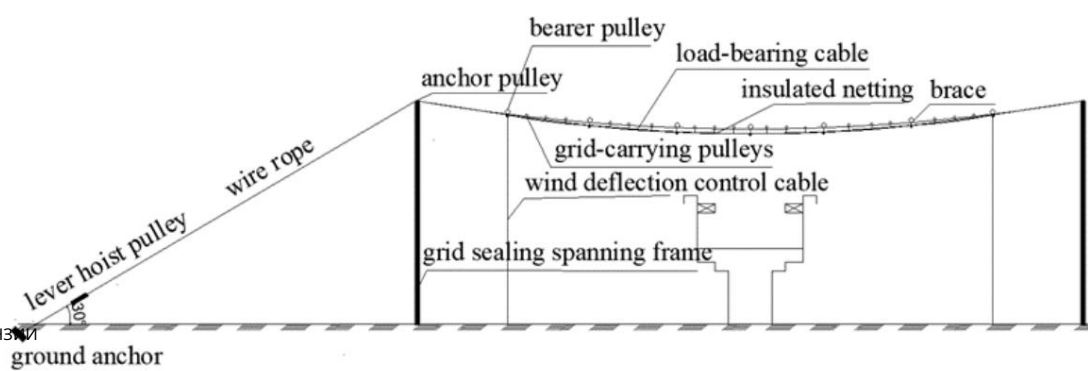


Рисунок 17. Вид спереди конструкции пролетной уплотнительной сетки и управление ее ветровым отклонением.

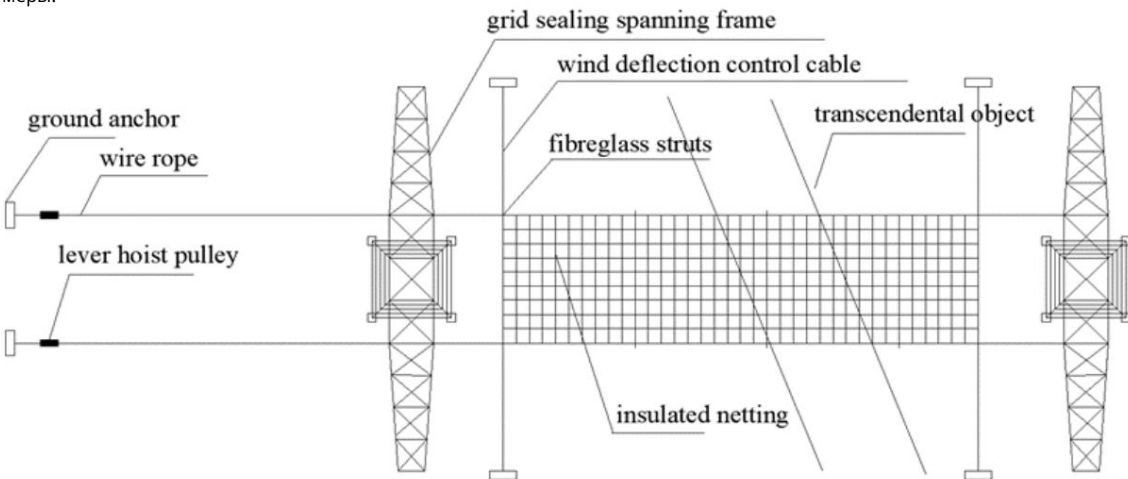


Рис. 18. Вид сверху конструкции пролетной уплотнительной сетки и управление ее ветровым отклонением.

4.2. Сравнение модального анализа уплотнительных решеток с дополнительными связями управления смещением ветра

В этом исследовании динамические характеристики дополнительной конструкции кабельного затвора составили 4,2. Сравнение модального анализа уплотняющих решеток с дополнительными связями контроля смещения ветра, проанализированных с использованием программного обеспечения ANSYS.

Цель состояла в том, чтобы определить, насколько конструкция кабельного затвора отличается от конструкции без кабелей. Этот анализ служит основой для последующего динамического анализа.

4.2.1. Конечно-элементное моделирование уплотнительной сетки

Модель находится на высоте 30 м с расстоянием между свалками 200 м. На основе

4.2. Сравнение модального анализа уплотнительных решеток с дополнительными связями управления смещением ветра

В данном исследовании динамические характеристики дополнительной конструкции кабельного затвора анализировались с помощью программного обеспечения ANSYS. Целью было определить собственную частоту и характер вибрации конструкции и сравните ее с конструкцией закрытия без

4.2.1. Конечное-элементное моделирование уплотнительной сетки

Модель находится на высоте 30 м, расстояние от основания 200 м. На основе конечного-элементной модели без дополнительных натяжных тросов, натяжные тросы установлены на четыре угла изолированной сетки с прикрепленным к каждому концу несущим канатом а другой конец прикреплен к земле наземными анкерами. Связывающие канаты созданы выбором изоляционный материал, веревку Дунгеса, как указано в предыдущем разделе. Модель имеет в общей сложности 2221 узел и 3816 элементов, а модель конечных элементов показана на рис.

Рисунок 19. Показано на рисунке 19.

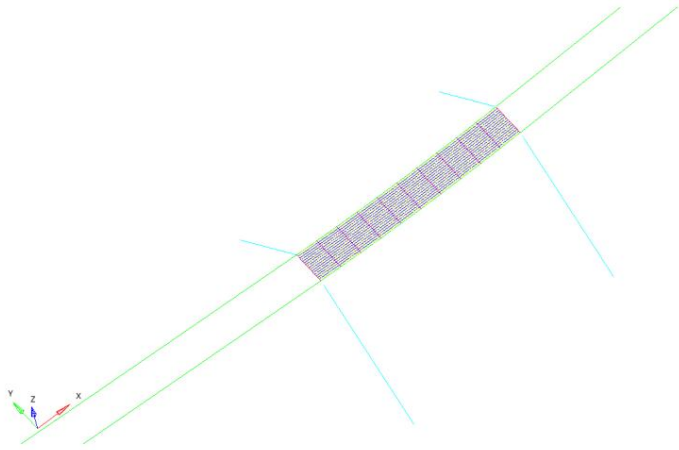


Рис. 19. Конечное-элементное моделирование дополнительных стяжных уплотнительных решеток.

4.2.2. Модальный анализ и сравнение

Характеристики автоколебаний затворной сетки и параметров при креплении натяжных тросов конструкции уплотнительной сетки. Программное обеспечение конечных элементов ANSYS используется для анализировать автоколебательные характеристики конструкции уплотняющей сетки с помощью дополнительных кабелей по сравнению с частотой его автоколебаний и характером вибрации. В таблице 9 показано сравнение частоты вибрации между всей сетчатой уплотнительной конструкцией с дополнительными кабелями и сетчатой уплотнительной конструкцией без дополнительных кабелей. Схема вибрации Структура уплотнительной сетки после установки дополнительного кабеля показана на рисунке 20.

Таблица 9. Сравнение частоты собственного резонанса всей конструкции с и без дополнительная застёжка кабеля.

Номер режима	Общее автоколебание	Автоколебательная частота	Относительная разница (%) (a) (b)/(b)
	Частота дополнительных Структура закрытия кабеля (Гц) (a)	Структуры без Дополнительное уплотнение кабеля Сеть (Гц) (b)	
1	0,193	0,183	5,5
2	0,298	0,274	8,9
3	0,569	0,557	2.2
4	0,583	0,559	4.3
5	1,029	1.011	1,8
6	1,044	1,012	3.1

Анализ конструкции герметизирующей сетки с дополнительными связями показывает, что структура демонстрирует низкочастотные и модоинтенсивные динамические характеристики при рассмотрении первые 50 режимов. На вибрацию шпал в первую очередь влияет вибрация замыкающая структура в низкочастотном диапазоне. Режимы с первого по восьмой соответствуют кабелю вибрации, а девятый, десятый, двадцать седьмой и двадцать восьмой лады представляют общие режимы вибрации затворной конструкции с присоединенным тросом. В частности,

температура (Гц) (а)		Уплотняющая сеть (Гц) (б) 0,183		(а) (б)/(б)	
1	0,193			5,5	
2	0,298	0,274		8,9	
3	0,569	0,557		2,2	
4	0,583	0,559		4,3	
5	1,029	1,011		1,8	
6	девятая, десятая и двадцать седьмая моды соответствуют продольным изгибным колебаниям, соответствуют поперечным изгибным колебаниям.				

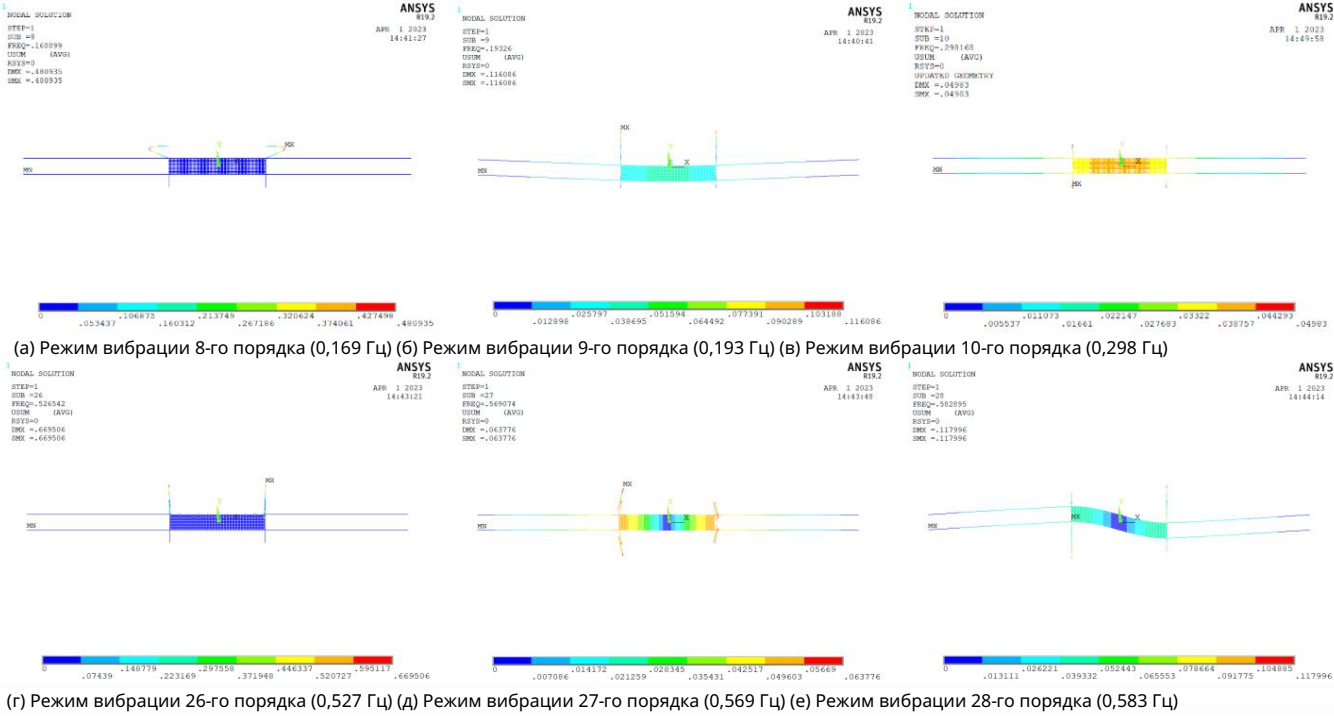
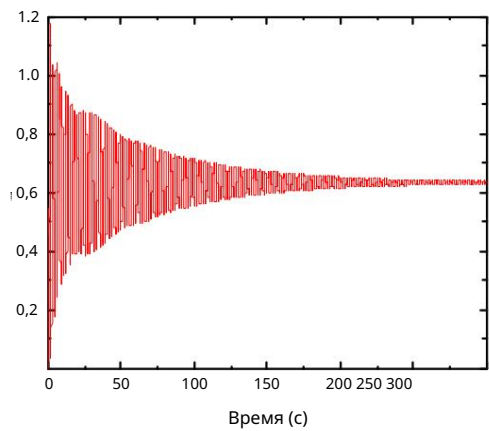
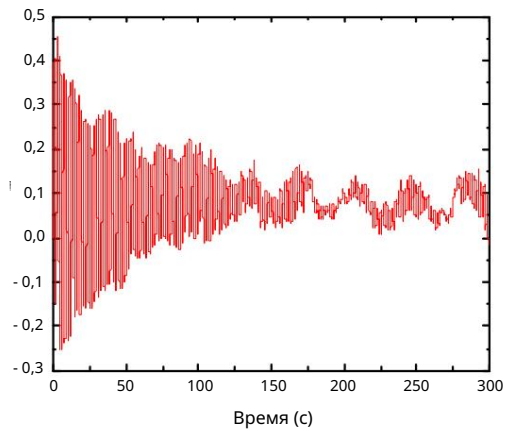


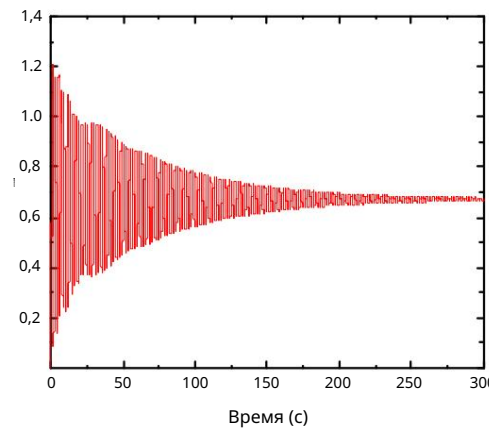
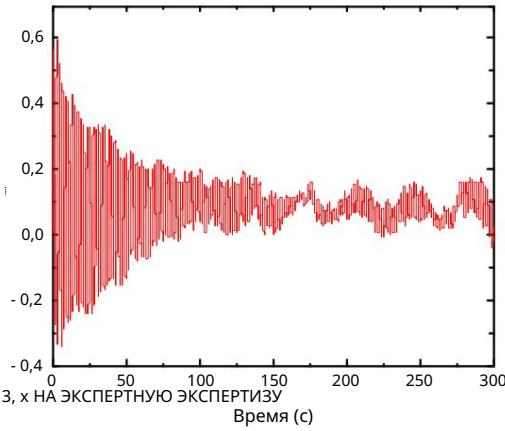
Рисунок 20. Частичная картина колебаний конструкции герметизирующей сетки после дополнительного натяжения Рисунок 20. Частичная картина колебаний конструкции герметизирующей сетки после дополнительного натяжения кабель. (Примечание: на рисунке 20 значение по умолчанию для чисел перед десятичной запятой равно 0).

Анализ конструкции герметизирующей сетки с дополнительными связями показывает, что конструкция демонстрирует низкочастотные и интенсивные модовые динамические характеристики, если рассматривать структуру с конструкцией незакрепленной кабельной муфты, заметная разница до первых 50 режимов. На вибрацию влияют вибрация, наблюдается 8,9%. Это указывает на то, что матрица масс и матрица жесткости модели для структуры замыкания в низкочастотном диапазоне. Режимы с первого по восьмой соответствуют дополнительной конструкции замыкания кабеля, претерпевшей изменения, что привело к увеличению к колебаниям кабеля, при этом девятый, десятый, двадцать седьмой и двадцать восьмой режимы частоты автоколебаний. Следовательно, дополнительный кабель управления ветровым смещением демонстрирует подавляющее воздействие на вибрацию замыкающей сети. В частности, девятая, десятая и двадцать седьмая моды соответствуют продольным изгибным колебаниям, а двадцать восьмая — поперечным изгибным 4.3. Влияние дополнительных кабелей управления на ветровой отклик уплотнительной сети вибрации.

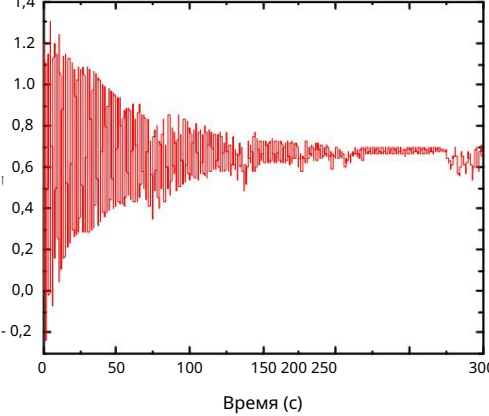
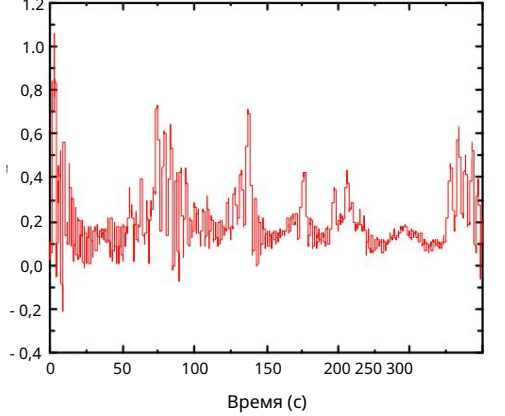
При строительстве сети закрытия крайне важно учитывать ветровое отклонение. При сравнении частот автоколебаний дополнительной конструкции замыкания троса и контроля степени занятости троса. В этом исследовании рассматриваются четыре различных рабочих условия для конструкции конструкции для крепления незакрепленного кабеля, заметная разница условий за счет выбора стальных канатов, наклоненных под углами 45 градусов, 60 градусов, 75 градусов, 90 градусов по отношению к земле. Для оценки реакции вибрации, вызванной ветром. Модель дополнительной конструкции затвора кабеля претерпела изменения, в результате чего конструкция затвора при различных скоростях ветра учитывается при анализе основных скоростей ветра 6 м/с, 8 м/с, 10 м/с, 12 м/с и 14 м/с. Самый неблагоприятный угол ветра для закрытия структура сети определена как 90 градусов; следовательно, он выбран для расчетов. Из-за многочисленных условий работы, только диаграмма перемещения-времени Конструкция замыкающей сети предусмотрена на расстояние 200 м, с предварительным натяжением 12 кН. для несущих тросов и базовой скоростью ветра 10 м/с. Затем эта диаграмма сравнивается к временной диаграмме смещения конструкции уплотняющей сетки без дополнительных кабели, как показано на рисунке 21.



(а) Угол между кабелем и землей составляет 45 градусов.

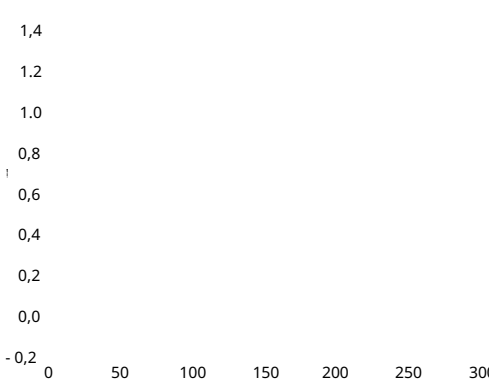
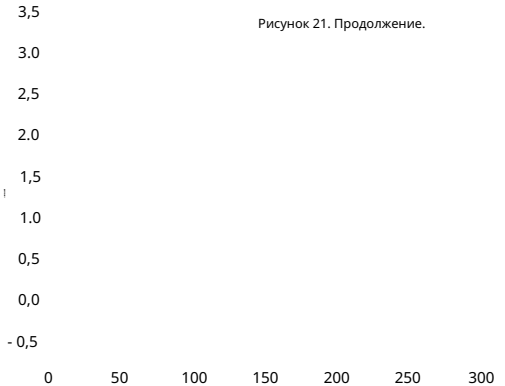


(б) Угол между кабелем и землей составляет 60 градусов.

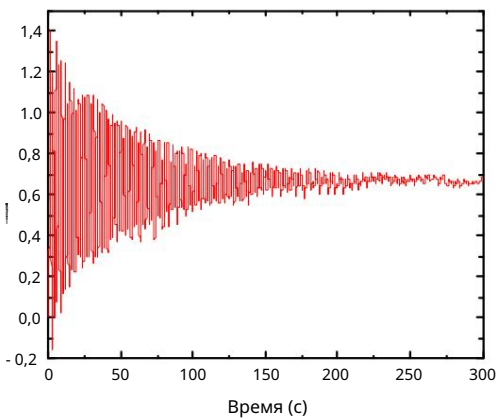
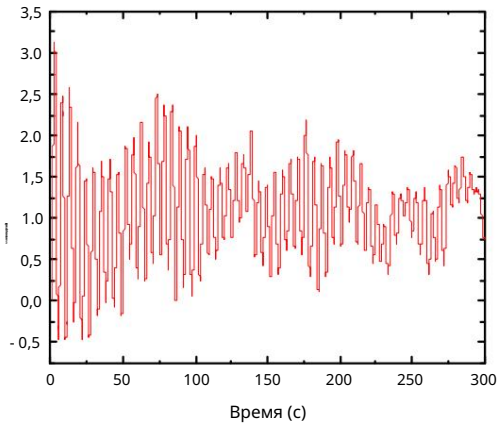


(с) Угол между кабелем и землей составляет 75 градусов.

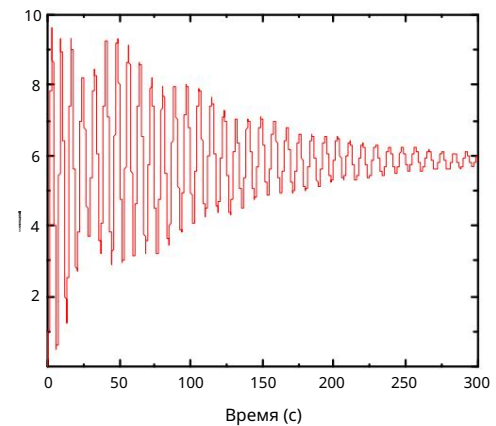
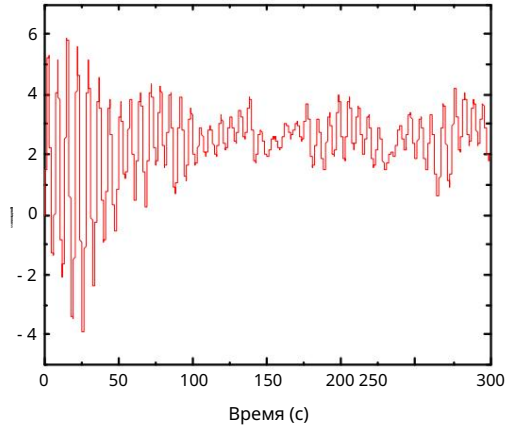
Рисунок 21. Продолжение.



(с) Угол между кабелем и землей составляет 75 градусов.



(d) Угол между кабелем и землей составляет 90 градусов.



(д) Без дополнительного кабеля

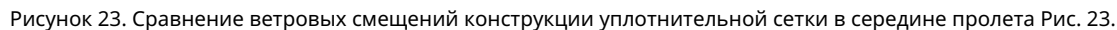
Рисунок 21. Временная диаграмма смещений в середине пролета под разными углами между кабелем и опорой.
Рисунок 21. Временная диаграмма смещений в середине пролета под разными углами между кабелем и опорой.
грунт для базовой скорости ветра 10 м/с.

Как показано на рисунке 21, при базовой скорости ветра 10 м/с и ветровое отклонение заданной сетки существенно уменьшаются, когда газифицирующая сетка прикрепляется к ветрозащитной конструкции кабеля управления. Среди них амплитуда колебаний уплотняющей сетки в горизонтальном направлении постепенно уменьшается и вибрирует случайным образом в определенном диапазоне; колебание амплитуда в вертикальном направлении стремится к определенной величине. Максимальный и средний значения перемещений срединных пролетов уплотнительной сетки были получены путем организации расчетные данные, как показано в Таблице 10.

Таблица 10. Межпролетные перемещения уплотняющих сеток с различными углами крепления троса и грунта для основная скорость ветра 10 м/с.

Угол между тросом и земля (градусы)	у _{макс} (м)	y _j (м)	z _{макс} (м)	z _j (м)
45	0,485	0,116	1.170	0,631
60	0,629	0,119	1.182	0,651
75	1,061	0,207	1.306	0,660
90	3.153	1.116	1,365	0,660
Без дополнительного кабеля	5.916	2.369	9,631	5,859

30 из 33



с кривыми в зависимости от угла стяжных канатов.



Рисунок 24. Сравнение кривых концевое напряжения и угла затяжки конструкции уплотнительной сетки.

[illegible]

5. Выводы

В этом исследовании программное обеспечение ANSYS использовалось для создания конечно-элементной модели конструкции уплотнительной сетки. Был проведен временной анализ, чтобы изучить реакцию конструкции герметизирующей сетки на ветровую вибрацию. Контролируя расстояние пролета уплотнительной сетки и предварительное натяжение несущих тросов, была проанализирована реакция конструкции на различные направления и скорости ветра. На этой основе также был проведен анализ управления ветровым отклонением с учетом изменяющегося угла между тросами управления ветровым отклонением и землей. Основные

- выводы заключаются в следующем: 1. Заметна разница в частоте автоколебаний между уплотнительной конструкцией с дополнительным тросом управления ветровым отклонением и без него. Наличие троса контроля ветрового отклонения увеличивает общую частоту автоколебаний уплотнительной конструкции. Это указывает на то, что дополнительный трос контроля ветрового отклонения эффективно подавляет вибрацию уплотнительной конструкции. В результате ветровое отклонение конструкции герметизирующей сетки может быть уменьшено за счет улучшения конструкции путем включения дополнительного троса управления ветровым отклонением.
2. Горизонтальное смещение ветром и концевое напряжение уплотняющей конструкции зависят от направления и скорости ветра. Наиболее критическое направление ветра составляет 90 градусов, а смещение ветра и напряжение увеличиваются с увеличением скорости ветра.
3. Для уменьшения ветрового прогиба во всех направлениях (горизонтальном и вертикальном) можно принять меры по уменьшению пролета и увеличению предварительного натяжения несущего троса. Однако, полагаясь исключительно на эти меры, можно не достичь защитных характеристик, необходимых для строительства. Поэтому по-прежнему рекомендуется принять дополнительные меры по контролю отклонения ветра, такие как тросы контроля отклонения ветра, чтобы еще больше уменьшить отклонения ветра во всех направлениях. В практическом машиностроении может подойти контрольный трос, расположенный под углом 60 градусов к земле для управления ветровым отклонением.
4. Отмечается, что следующие рекомендации, согласно изложенным выше выводам, могут быть использованы и при проектировании подобных конструкций для обеспечения их эффективной и надежной работы при ветровых нагрузках. Например, установка кабеля управления, вызванного ветром, помогает снизить вибрации, вызванные ветром. Убедитесь, что предварительное натяжение несущих тросов находится в безопасном диапазоне. Оценить влияние сокращения расстояния между кабелями и увеличения количества осадков на перемещения, вызванные ветром. Внедрите дополнительные меры по контролю воздействия ветра, такие как опоры для тросов управления, вызванные ветром, для удовлетворения конкретных требований безопасности строительства.

Вклад автора: концептуализация, MZ и GZ; методология, MZ, GF и XZ; программное обеспечение GZ; валидация, GF и XZ; формальный анализ — GF, XZ и GZ; исследование, GF и XZ; ресурсы, MZ и GZ; курирование данных, GF; письменное – подготовка первоначального черновика, MZ и GF; написание — рецензирование и редактирование, XZ и GZ. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Финансирование: Исследование финансировалось Фондом естественных наук провинции Хэнань (грант № 222300420549) и Проектом фонда развития молодых преподавателей Университета Чжэнчжоу (грант № JC21539028).

Заявление Институционального наблюдательного совета: Неприменимо.

Заявление об информированном согласии: Не применимо.

Заявление о доступности данных: данные содержатся в этой статье.

Конфликты интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Рекомендации

1. Шу, Ю.; Чен, В. Исследование и применение передачи сверхвысокого напряжения в Китае. Высокое Вольт. 2018, 3, 1–13. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
2. Шао Т. Обсуждение и применение технологии строительства безостановочных пересечений линий электропередачи. Электр. англ. 2017, 8, 135–136, 139.
3. Китайский институт планирования и проектирования электроэнергетики. Общие спецификации для оборудования защиты линий электропередачи GB/T 15145-2017; China Planning Press: Пекин, Китай, 2017 г.; стр. 1–5.

4. Му, Ю. Анализ моделирования разрывов линий электропередачи, воздействующих на защитные сети защитных устройств на путях. Магистерская диссертация, Юго-Западный университет Цзяотун, Чэнду, Китай, 2021 г. 5.
Готтарди, Г.; Говони Л. Полномасштабное моделирование падения камнезащитных барьеров. Рок Мех. Рок англ. 2010, 43, 261–274. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
6. Сасихаран, Н.; Мухунтан, Б.; Бэджер, ТС; Шу, С.; Кэррадин, Д.М. Численный анализ характеристик проволочной сетки и кабельные сети для защиты от камнепадов. англ. геол. 2006, 88, 121–132. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
7. Мэн, С.-М.; Шен, В.; Тан, Б. Моделирование столкновения между натянутым проводником и герметизирующей сеткой в строительстве платного переезда. Дж. Университет Трех Ущелий. (Nat. Sci. Ed.) 2020, 42, 91–95.
8. Лю, Х.; Мэн, Х.; Ли, Д.; Яо, Дж.; Лю, К.; Лю, Р.; Шен, Х. Проектирование пролетной рамы, используемой для несущей сети линии электропередачи сверхвысокого напряжения. В материалах 18-й Международной конференции по передаче электроэнергии переменного и постоянного тока (ACDC 2022), виртуально, 2–3 июля 2022 г.; стр. 1446–1452.
9. Ву, Ю.; Сан, Ю.; Чжэн, З.; Сан, Х. Ветроветхника и проектирование ветровых конструкций, 1-е изд.; Издательство Харбинского технологического института: Харбин, Китай, 2014 г.; стр. 22–37.
10. Абад, MSA; Шуштары, А.; Эсмаили, В.; Ряби А.Н. Нелинейный расчет вантовых конструкций при общих нагрузках. Конечный Элем. Анальный. Дес. 2013, 73, 11–19. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
11. Ваеззаде, А.; Долашахи К.М. Устойчивость к постепенному разрушению конструкций вантовых сетей. Дж. Констр. Сталь Рез. 2022, 195, 107347.
[\[Перекрестная ссылка\]](#)
12. Ву, Ю.; Чжан, В.; Мэн, Х.; Су, Ю. Нелинейный вибрационный контроль конструкций кабельных сетей с ограниченными неопределенностями. Акта Мех. 2016, 227, 2985–3000. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
13. Сальватори, Л.; Спинелли, П. Влияние структурной нелинейности и когерентности ветра по пролету на аэродинамику подвесного моста: Некоторые результаты численного моделирования. Дж. Винд Инж. Индийский Аэрод. 2006, 94, 415–430. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
14. Эскаллон, Дж. П.; Беттичер, В.; Венделер, К.; Чацци, Э.; Бартельт П. Механика сетчатых сетей со свободными соединениями. англ. Структура. 2015, 101, 68–87. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
15. Халхалиха, М.; Зарфам, П.; Зарфам, Р. Нелинейное структурное поведение и контроль вибрации кабельной сети двойной кривизны под действием динамические возбуждения. лат. Являясь. Дж. Структура Солидса. 2020, 17, e267. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
16. Ллойд, А.; Барри, П. Характеристики защитной сетки при ударной нагрузке с низкой скоростью. В материалах ежегодной конференции Канадского общества гражданского строительства 2021: Структуры CSCE21, том 2. Конспекты лекций по гражданскому строительству; Шпрингер: Берлин/Гейдельберг, Германия, 2022 г.; Том 244, стр. 421–431.
17. Бертоло, П.; Оггери, К.; Пейла, Д. Полномасштабные испытания драпированных сетей для защиты от камнепадов. Может. Геотех. Дж. 2009, 46, 306–317.
[\[Перекрестная ссылка\]](#)
18. Эскаллон, JP; Венделер, К.; Чацци, Э.; Бартелт, П. Идентификация параметров компонентов барьера защиты от камнепадов с помощью обратной формулировки. англ. Структура. 2014, 77, 1–16. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
19. Ван, Ю. Исследование конструкции уплотняющей сети в аэродинамической трубе для проекта передачи электроэнергии по высокоскоростной железной дороге. Линия. Магистерская диссертация, Университет Шаньютоу, Шаньютоу, Китай, 2022 г.
20. Ли, К.; Лю, К. Моделирование полей скорости ветра с использованием метода гармонической суперпозиции, основанного на методе интерполяции. Дж. Виб. Шок 2009, 28, 65–69.
21. Холмс, доктор юридических наук; Бекеле С. Ветровая нагрузка конструкций; CRC Press: Бока-Ратон, Флорида, США, 2020 г.; стр. 154–195.
22. Симиу, Э.; Йео, Д. Влияние ветра на конструкции. Современный расчет ветровых конструкций, 4-е изд.; Уайли Блэквелл: Хобокен, Нью-Джерси, США, 2019 г.; стр. 17–51.
23. Китайский институт планирования и проектирования электроэнергетики. Техническое задание на проектирование стальных несущих конструкций верхнего строения пути Линия электропередачи ДЛТ 5486-2020; China Planning Press: Пекин, Китай, 2020 г.; стр. 85–87.
24. Китайский совет по электроэнергетике. Руководство по технологии строительства натяжной струны воздушной линии электропередачи при пересечении линий электропередачи без траверсы ДЛТ 5301-2013; Издательство China Electric Power: Пекин, Китай, 2014 г.; стр. 7–18.
25. Чжан Г.; Сан, В.; Ву, Ю.; Фу, Дж.; Яо Ю. Технология строительства воздушных линий электропередачи высокоскоростной железной дороги. Мощность Констр. 2011, 32, 94–97.
26. Отараванна, С.; Нгиамсунгнри, К.; Малатип, А.; Эйамарам, П.; Фонгтанананич, С.; Хунтасаро, Э.; Ковитварангкул, П.; Интаракумторнчай, Т.; Бунмалерт, П.; Бхотикхун, К. Образовательный пакет программного обеспечения для всестороннего изучения компьютерного проектирования. Вычислить. Прил. англ. Образование. 2020, 28, 1083–1109.
[\[Перекрестная ссылка\]](#)
27. Ян, К.; Ли, К.М. Определение формы кабельной конструкции Ansys и моделирование линий подвесной цепи. Инф. Технол. Гражданский. англ. Констр. 2010, 2, 61–65.
28. Войчик-Гржаба И. Расширенный метод плотности сил для кабельных сетей под собственным весом. Часть II. Примеры применения. Арх. Гражданский. англ. 2022, 68, 45–61.
29. Ци, Х.; Линфэн, З.; Цзинсу, К.; Йи, З. Моделирование Ansys и анализ динамических свойств компактной и узкой базальной передачи башня. Водный ресурс. Власть 2011, 29, 167–168, 186.
30. Железнодорожное право Китайской Народной Республики. Бюллетень Постоянного комитета Всекитайского собрания народных представителей Китайская Республика; Издательство Китайской железной дороги: Пекин, Китай, 2015 г.; стр. 14–20.
31. Чжан З. Процесс строительства пролетов поперек токоведущих линий без пролетной рамы пролетной системы. Технол. Ветер. 2011, 20, 156–157.
32. Тан, Дж.; Се, Х. Исследование вибрационной работоспособности большепролетного подвесного пешеходного моста при боковом ветре. Дж. Чжэцзянский университет. (англ. ред.) 2021, 55, 1903–1911.

33. Ван, Д.; Ван, Дж.; Ся, З.; Чжан, Х.; Ван, Дж.; Ван Дж. Разработка устройства маскировки изоляции для крепления фазных проводов и поперечины на краях натяжной тяги распределительной сети. Энергетика 2023, 44, 29–32.
34. Нитеш, К.; Шетти, К.К.; Шеой, П. Влияние профилей вант на работоспособность вантового моста. Межд. Дж. Сив. англ. Технол. 2018, 9, 1136–1142.

Отказ от ответственности/Примечание издателя: Заявления, мнения и данные, содержащиеся во всех публикациях, принадлежат исключительно отдельному автору(ам) и участникам(ам), а не MDPI и/или редактору(ам). MDPI и/или редактор(ы) не несут ответственности за любой вред людям или имуществу, возникший в результате любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.