

И.Р. АЛИУЛЛОВ, аспирант гр. СЭМа-1-25 (КГЭУ)  
г. Казань

## **ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ**

В статье рассмотрены актуальные проблемы эксплуатации воздушных линий электропередачи (ВЛ) в условиях северных регионов. Проанализированы ключевые факторы, снижающие несущую способность конструкций: экстремальные климатические нагрузки, особенности грунтов, динамические воздействия. Предложены комплексные технические решения по усилению опор, модернизации проводов и внедрению систем мониторинга. Обоснована необходимость актуализации нормативных требований с учётом специфики северных территорий.

В условиях сурового климата северных регионов эксплуатация воздушных линий электропередачи (ВЛ) связана с рядом специфических факторов, обусловленных экстремальными температурами, интенсивным обледенением, сильными ветровыми нагрузками и сложными грунтовыми условиями. Эти факторы значительно снижают надёжность и долговечность опорных конструкций, проводов и изоляторов, а также увеличивают риск аварийных отключений и повреждений линий. В связи с растущими потребностями в энергоснабжении удалённых и труднодоступных территорий, а также с необходимостью обеспечения устойчивого функционирования энергосистем в условиях изменения климата, особую актуальность приобретает задача повышения несущей способности конструкций воздушных линий [1].

Повышение несущей способности ВЛ в северных регионах требует комплексного подхода, включающего разработку новых конструктивных решений, применение морозостойких и коррозионностойких материалов, совершенствование методов расчёта нагрузок с учётом региональных климатических особенностей, а также внедрение современных технологий мониторинга и диагностики. Решение этой задачи напрямую влияет на энергетическую безопасность, экономическую эффективность и экологическую устойчивость энергетической инфраструктуры в Арктике и других северных зонах [2].

В работе [3] рассматриваются некоторые методы повышения несущей способности.

### **1. Модернизация опор и фундаментов**

Для повышения устойчивости в условиях вечной мерзлоты эффективны:

- крестовидные сваи с зазубренным сечением, обеспечивающие дополнительное сцепление с грунтом;
- многогранные стальные опоры, упрощающие монтаж и повышающие прочность;
- буронабивные и забивные свайные основания, минимизирующие нарушение структуры грунта.

Особое внимание уделяется фундаментам, особенно в районах распространения многолетнемёрзлых грунтов. Здесь применяются специальные типы свай – винтовые, буронабивные с термостабилизацией или сваи с воздушными прослойками, предотвращающими оттаивание грунта. Такие решения обеспечивают устойчивость опор даже при сезонных деформациях основания.

## 2. Применение современных проводниковых материалов

Использование инновационных проводов позволяет:

- увеличить механическую прочность (провода типа АСТ с термостойким алюминиевым сплавом);
- снизить электрические потери на 10-15 % (компактные провода Aero Z);
- повысить отношение прочности к весу (провода с композитными сердечниками АССС).

Существенную роль играет выбор материалов. В северных и других климатически сложных регионах всё шире применяются морозостойкие стали с повышенной ударной вязкостью при низких температурах, что предотвращает хрупкое разрушение конструкций. Также активно внедряются композитные материалы – например, стеклопластиковая арматура для фундаментов или полимерные изоляторы, устойчивые к обледенению и коррозии. Такие материалы не только увеличивают долговечность элементов ВЛ, но и снижают их вес, что упрощает монтаж и уменьшает нагрузку на основание [4].

## 3. Защита от динамических нагрузок

Для снижения амплитуды колебаний применяются:

- гасители вибрации (ОГК, ГВУ, ГПР, ГПП);
- межфазовые изолирующие распорки;
- ограничители гололёдообразования.

На этапе проектирования повышение несущей способности достигается за счёт более точного учёта климатических и механических нагрузок. Использование современных программных комплексов для численного моделирования (например, ANSYS, LIRA, Tower) позволяет проводить детальный анализ напряжённо-деформированного состояния конструкций с учётом не-линейных свойств материалов, сложной геометрии и реальных погодных условий. Это даёт возможность оптимизировать конструкцию ещё до начала строительства.

#### 4. Системы мониторинга и диагностики

Непрерывный контроль параметров ВЛ обеспечивает:

- оперативное выявление неисправностей (датчики температуры, тока, натяжения);
- прогнозирование износа конструкций;
- оптимизацию графиков ремонта.

Безусловно, в процессе эксплуатации несущая способность может быть повышена за счёт регулярного технического обслуживания и внедрения систем мониторинга. Установка датчиков наклона, температуры, влажности и вибрации, а также применение беспилотных технологий для визуального контроля позволяют своевременно выявлять дефекты и предотвращать аварийные ситуации. В перспективе такие данные могут интегрироваться в интеллектуальные системы управления энергосетями, обеспечивая адаптивную и прогнозирующую эксплуатацию ВЛ [5].

Не менее важным является оптимизация трассы линии. Сокращение длины пролётов между опорами позволяет снизить механические напряжения в проводах, особенно в условиях сильного обледенения или ветровых порывов. Увеличение высоты опор и расстояния между фазами также способствует повышению надёжности, предотвращая схлёстывание проводов и короткие замыкания.

Таким образом, реализация предложенных мер позволит не только повысить надёжность и безопасность энергоснабжения в северных территориях, но и снизить эксплуатационные затраты, продлить срок службы оборудования и обеспечить устойчивое развитие энергетической инфраструктуры в условиях меняющегося климата.

#### Список литературы:

1. Jiang, W. Q. et al. Accurate modeling of joint effects in lattice transmission towers //Engineering Structures. – 2011. – Т. 33. – №. 5. – С. 1817-1827.
2. Zhang, J., Xie, Q. Failure analysis of transmission tower subjected to strong wind load //Journal of Constructional Steel Research. – 2019. – Т. 160. – С. 271-279.
3. Rao, N. P. et al. Segmental instability failures in transmission line towers//Journal of Constructional Steel Research. – 2023. – Т. 211. – С. 108195.
4. Efinger, D. et al. Reliability as a key driver for a sustainable design of adaptive load-bearing structures //Sustainability. – 2022. – Т. 14. – №. 2. – С. 895.
5. Smith, J., Brown, L. Composite Materials for Overhead Transmission Lines: A Review // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2022. – Vol. 37, No. 4. – P. 2105–2112.

Информация об авторах:

Алиулов Ильсур Ринатович, аспирант гр. СЭМа-1-25, КГЭУ,  
420066, г. Казань, ул. Красносельская д.51, к. Д, aliullovilur808@mail.ru