

ОЦЕНКИ МЕХАНИЗМОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГЕОМАГНИТНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ В ЛЭП НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА 11 ЛЕТ

В. Б. Белаховский¹ *, В. А. Пилипенко², В. Н. Селиванов³, Я. А. Сахаров¹

¹Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

²Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

³Центр физико-технических проблем энергетики Севера – филиал Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ЦЭС КНЦ РАН), Апатиты, Россия

*E-mail: belakhov@mail.ru

В данной работе проанализированы случаи с экстремальными значениями геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ) в линиях электропередач (ЛЭП) Мурманской области, Карелии и рассмотрены источники их возбуждения в ионосфере, магнитосфере Земли, солнечном ветре. Создана база данных экстремальных значений ГИТ в линиях электропередач (ЛЭП) за 11 лет наблюдений (2012–2022 гг.). Система регистрации ГИТ создана Полярным геофизическим институтом и Центром физико-технических проблем энергетики Севера ФИЦ КНЦ РАН и включает в себя 5 станций. При анализе событий рассматривались данные по регистрации ГИТ с авроральной станции Выходной (VKH) и субавроральной станции Кондопога (KND). База данных включает 95 событий по данным станции VKH ($|GIC| > 20$ Ампер), 45 событий по данным станции KND ($|GIC| > 5$ Ампер). Для регистрации вариаций геомагнитного поля использованы данные обсерватории ПГИ «Ловозеро» (LOZ) и данные станции Mекrijärvi (МЕК), входящую в сеть IMAGE.

Анализ показывает, что как для станции VKH, так и для станции KND экстремальные события ГИТ в основном вызваны суббуриями (>80% случаев), которые примерно с равной вероятностью наблюдаются в послеполуночном и в вечернем секторах MLT. При этом развитие вихревых токовых систем во время суббури (P₃-P₅/P₂ пульсаций) может давать заметный вклад в рост ГИТ для ЛЭП, ориентированной в направлении север-юг. Дневные и утренние события ГИТ вызваны положительными магнитными бурями, P₅ геомагнитными пульсациями, SSC импульсом.

Показано, что во время СМЕ магнитной бури наибольшее число экстремальных событий ГИТ происходит во время главной фазы магнитной бури.

В среднем амплитуда ГИТ растет с ростом интенсивности магнитной бури ($|SYM-H|$), ростом dB/dt , ростом IE индекса. При этом связь амплитуды ГИТ с параметрами солнечного ветра, межпланетного магнитного поля (V , B_z , E_s , ϵ), индексами геомагнитной активности (SYM-H, AE, IE) имеет сильно нелинейный характер. Это говорит о сложности прогноза ГИТ на основании этих параметров, поскольку амплитуда ГИТ определяется в целом не глобальными характеристиками магнитосферы, а локальными ионосферными токами. Из всех рассмотренных параметров наиболее высокая корреляция амплитуды ГИТ наблюдается с максимальным значением IE индекса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-17-20038, <https://rscf.ru/project/25-17-20038/>) и гранта Министерства образования и науки Мурманской области.

ESTIMATES OF THE MECHANISMS OF EXCITATION OF EXTREME VALUES OF GEOMAGNETICALLY INDUCED CURRENTS IN POWER LINES BASED ON OBSERVATIONS OVER 11 YEARS

V. B. Belakhovsky^{1,*}, V. A. Pilipenko², V. N. Selivanov³, Y. A. Sakharov¹

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

²*Schmidt Institute of Physics of the Earth Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³*Center for Physical and Technical Problems of Northern Energy, Kola Science Center Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

The paper analyzes extreme values of geomagnetically induced current (GICs) in power transmission line (PTL) in the Murmansk region and Karelia, and examines their sources in the Earth's ionosphere, magnetosphere, and solar wind.

A database of extreme GIC values in PTL over 11 years of observation (2012-2022) has been created. The GIC registration system was created by the Polar Geophysical Institute and the Center for Physical and Technical Problems of Northern Energy of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences and includes 5 stations. The event analysis included GIC registration data from the Vykhnodnoy auroral station (VKH) and the Kondopoga subauroral station (KND). The database includes 95 events from the VKH station ($|GIC| > 20$ Amps) and 45 events from the KND station ($|GIC| > 5$ Amps). To record variations in the geomagnetic field, data from the Lovozero Observatory (LOZ) and data from the Mekrijärvi station (MEK), which is part of the IMAGE network, were used.

The analysis shows that for both the VKH and KND stations, extreme GIC events are primarily caused by substorms (>80% of cases), which are observed with approximately equal probability in the post-midnight and evening MLT sectors. Moreover, the development of vortex current systems during substorms (Pi3-Ps6/Pi2 pulsations) can significantly contribute to the GICs increase for north-south-oriented transmission lines. Daytime and morning GIC events are caused by positive magnetic bays, Pc5 geomagnetic pulsations, and SSC impulses.

It is shown that during a CME magnetic storm, the greatest number of extreme GIC events occurs during the main phase of the magnetic storm.

On average, the GIC amplitude increases with increasing magnetic storm intensity ($|SYM-H|$), dB/dt , and the IE index. The relationship between the GIC amplitude and solar wind parameters, the interplanetary magnetic field (V , B_z , E_s , ϵ), and geomagnetic activity indices (SYM-H, AE, IE) is highly nonlinear. This indicates the difficulty of predicting the GIC based on these parameters, since the GIC amplitude is generally determined not by global magnetospheric characteristics, but by local ionospheric currents. Of all the parameters considered, the highest correlation between the GIC amplitude and the maximum IE index is observed.