

УДК 551.583 / УДК 621.312.1

Кондратьева О.Е., зав. каф., д.т.н., доцент

Мясникова Е.М., студент ЭЛ-18м-18

Воронков Д.А., студент ЭЛ-18м-18

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
каф. Инженерной экологии и охраны труда

Kondrateva OE, Head of Chair, Doctor of Technical Science, docent

Myasnikova EM, student EL-18m-18

Voronkov DA, student EL-18m-18

FGBOU VO «National Research University «MPEI», Dept. of Engineer-
ing Ecology and Labor Safety**РАБОТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УСЛО-
ВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ФАКТОРА АТ-
МОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ****THE WORK OF ELECTRICAL TRANSMISSION LINES IN CONDI-
TIONS OF CHANGING PRECIPITATION CLIMATIC FACTOR**

Обеспечение безопасности в различных отраслях человеческой деятельности должно основываться на многих факторах, в том числе и климатических, роль которых за последнее время значительно возрастает.

Изучение вопросов влияния климатических изменений на жизнь человека и общества необходимо для снижения вероятности возникновения опасных ситуаций, таких как: лесные пожары, увеличение заболеваемости и смертности среди населения, снижение урожайности сельскохозяйственных земель, запасов питьевой воды, качества продукции предприятий, надежности производственного процесса и др. Ключевую роль в данном случае играет энергетика, так как за счет выработки электрической энергии осуществляется перекачивание воды, необходимое для нужд населения, обслуживания сельскохозяйственных угодий. Также выработка электрической энергии позволяет транспортировать различные виды продукции, используется в технологических процессах и др. Таким образом, действие климатических факторов на объекты электроэнергетики является одной из основных задач в вопросе влияния климата на жизнедеятельность человека.

В статье проведена оценка влияния климатического фактора «атмосферные осадки» (АО) на воздушные линии электропередачи (ВЛ) и их элементы. Также проведены анализ изменений АО за последние пять лет на период с 2014 по 2018 гг. на основе докладов Росгидромета, анализ про-

гноза данного показателя для некоторых регионов до середины XXI века на основе карт прогноза аномалий Росгидромета.

Согласно данным электросетевых компаний [1] АО оказывают большое влияние на безопасность и надежность энергетических объектов. В зависимости от количества и типа АО будут наблюдаться различные аварийные ситуации. Так, например, дождь, ливень (жидкие АО, выпадающие из облаков) сами по себе или в сочетании с ветром, грозой могут приводить к пробоям или обрыву изоляторов, нарушению крепления изоляторов, замыканию проводов по ветке, попаданию влаги в разъединители шин и другое оборудование ВЛ, отключению релейной защиты проводов, обрыву проводов, сходу проводов с последующим замыканием, нарушению электрической изоляции, а также ускоренному износу электрических сетей.

Роса и туман (жидкие АО, осаждающиеся из воздуха) могут приводить к нарушению электрической изоляции за счет поверхностного перекрытия проводов, траверс опор, изоляторов по влажным загрязнениям и др.

Снег, град (твердые АО, выпадающие из облаков) сами по себе или в сочетании с ветром, грозой могут стать причиной износа крепления проводов, пробоя или разрушения изоляторов, нарушения работы релейной защиты, а также могут стать причиной пляски, обрыва, вытягивания, схода или сближения на недопустимое расстояние проводов, возникновения короткого замыкания.

Гололед, изморозь (твердые АО, осаждающиеся из воздуха) сами по себе или в сочетании с ветром могут приводить к сходу, обрыву и пляске проводов из-за неравномерного распределения гололедно-изморозевых отложений (ГИО), срыву или нарушению крепления изоляторов, падению проводов из-за вытягивания проводов, обледенению элементов ВЛ, коротким замыканиям.

При изучении изменений климатических параметров рассматривают их аномалии, т.е. отклонения величины от нормы базового периода. На основе точечной (локальной) и количественной оценки средних годовых и сезонных аномалий АО, выраженных в мм/месяц, на территории России для последних пяти лет (2014-2018 гг.), полученных как отклонение от средних за 1961-1990 гг. [2, с. 17-19; 3, с. 24-28; 4, с. 16-18; 5, с. 18; 6, с. 17-18] были получены следующие выводы:

1) Тренд суммарного количества годовых и сезонных аномалий АО по всей территории России растет, при этом количественные значения годовых аномалий АО с 2015-2018 гг. имеют достаточно высокие значения. Рост годового количества АО на период с 1976 по 2018 гг. составляет 2,2% за 10 лет. Избыток осадков по всей России в наибольшей степени характерен для весны (5,9% за 10 лет) и зимы (2,6% за 10 лет). Летом и осенью для некоторых регионов и ФО в рассматриваемые годы (2014-2018 гг.) наблю-

дается дефицит АО. Снижение сезонного количества АО в летний период с 1976 по 2018 гг. особенно характерно для ЕЧР (-1,9% за 10 лет), в Южном ФО (-4,9% за 10 лет), в Северо-Кавказском ФО (-4,2% за 10 лет), в Приволжском ФО (-4,3% за 10 лет). Снижение сезонного количества АО в осенний период с 1976 по 2018 гг. особенно характерно для Приамурья и Приморья (-0,8% за 10 лет).

2) Для всех регионов России наблюдается рост количества АО (линейный тренд аномалий АО положительный). Наибольшее количество осадков за последние пять лет (2014-2018 гг.) наблюдается в Западной, Средней и Восточной Сибири, несмотря на снижение АО в 2016 году на территории Западной и Средней Сибири из-за резкого дефицита осадков в осенний период. Для Прибайкалья и Забайкалья в 2014 и 2015 годах наблюдается значительный дефицит АО, вызванный снижением количества АО в летний и осенний периоды. В Приамурье и Приморье, а также на территории ЕЧР за последние пять лет происходило чередование избытка и дефицита АО.

3) Для всех федеральных округов (ФО) РФ, кроме Центрального и Приволжского, характерен положительный линейный тренд аномалий АО. Наибольшее количество осадков за последние пять лет (2014-2018 гг.) выпало на территории Северо-Западного, Уральского, и Северо-Кавказского ФО. Основной вклад в избыток АО на территории Северо-Западного ФО внесли осадки зимнего сезона, а также в некоторые года осадки весеннего и летнего сезонов. В Центральном, Южном и Северо-Кавказском ФО большое количество АО выпало в 2016 году за счет избытка осадков в зимний и весенний периоды. Значительное снижение АО в Сибирском ФО наблюдается в 2016 году из-за дефицита осадков в летний и осенний сезоны, в Дальневосточном ФО в 2015 году за счет дефицита АО в зимний и весенний периоды.

Для прогноза будущих климатических изменений ученые строят различные сценарии на основе теорий развития мировой экономики. Сценарий, разработанный МЭИ (Клименко В., Клименко А. 1990; Снытин и др. 1994; Клименко 1994), основывается на прогнозировании развития мировой энергетики с учетом тенденций её исторической эволюции. Данный сценарий позволяет оценить обеспеченность энергетических ресурсов и наиболее вероятные последствия климатических изменений [7, с. 609]. Наиболее близким к сценарию МЭИ является умеренный сценарий RCP4.5, разработанный Межправительственной группой экспертов по изменению климата МГЭИК (IPCC). Оба сценария в наибольшей степени соответствуют наблюдаемым в настоящее время тенденциям [8, с. 157].

На примере двух регионов России был проведен анализ прогностических оценок аномалий АО по сценарию RCP4.5 на 2011-2030 гг. и 2041-2060 гг. по отношению к базовому климатическому периоду 1981-2000 гг.,

результаты представлены в таблице 1. Данные были взяты из карты прогноза аномалий Климатического центра Росгидромета [9].

Таблица 1

Анализ прогностических оценок аномалий АО (мм/сут) для Республики Башкортостан и Республики Карелия на 2011-2030 гг. и 2041-2060 гг. по отношению к базовому климатическому периоду 1981-2000 гг.

Республика Башкортостан	Республика Карелия
Твердые АО – преобладают в зимний сезон и отсутствуют в летний. Среднегодовое количество с годами снижается, за счет того, что в весенний и осенний сезоны количество твердых АО ниже нормы.	
Среднегодовые аномалии твердых АО составят $-0,03$ в 2011-2030 гг. и $-0,05$ в 2041-2060 гг. Зимние аномалии будут незначительно уменьшаться с годами, однако сами аномалии будут положительными: $\sim 0,04$ в 2011-2030 гг., $\sim 0,03$ в 2041-2060 гг. Весной и осенью аномалии твердых АО составят $\sim -0,07 \div 0,13$ (в оба рассматриваемых периода).	Среднегодовые аномалии твердых АО составят $-0,07$ в 2011-2030 гг. и $-0,1$ в 2041-2060 гг. Зимние аномалии будут увеличиваться с годами и составят в 2011-2030 гг. $\sim 0,04$, в 2041-2060 гг. $\sim 0,07$. Весной и осенью аномалии твердых АО составят $\sim -0,1 \div 0,13$ (в оба рассматриваемых периода).
Жидкие АО – среднегодовое количество больше нормы и с годами увеличивается за счет роста жидких АО в летний, весенний и осенний сезоны, зимой отсутствуют.	
Аномалии жидких АО составят весной $\sim 0,08$ в 2011-2030 гг. и $\sim 0,12$ в 2041-2060 гг.; осенью $\sim 0,03$ в 2011-2030 гг. $\sim 0,07$ в 2041-2060 гг. Значительные аномалии АО будут наблюдаться летом – $\sim 0,1 \div 0,12$ (в оба рассматриваемых периода).	Аномалии жидких АО составят $\sim 0,07$ весной и $\sim 0,03$ осенью (в оба рассматриваемых периода). С годами значительный рост аномалии жидких АО будет наблюдаться летом: $\sim 0,11$ в 2011-2030 гг. $\sim 0,18$ в 2041-2060 гг.
Суммарные АО (жидкие и твердые) – среднегодовое количество имеет тенденцию к росту, но примерно будет составлять $\sim 0,17$. Вклад в суммарное количество АО в весенний, летний и осенний периоды вносят жидкие АО, в зимний период – твердые АО. Осенью количество суммарных АО примерно одинаковое.	
Суммарное количество АО значительно увеличивается за счет жидких АО.	Весной и летом аномалий АО больше чем в Башкортостане.

В качестве территорий, для которых произведен прогноз изменений АО, были выбраны Республика Башкортостан и Республика Карелия. Выбор данных регионов связан со значительным влиянием АО на состояние ВЛ и её элементов, так, например, в 2018 году количество аварийных от-

ключений, связанных с воздействием АО в отдельности или в сочетании с другими климатическими факторами, для электросетевой компании ООО «Башкирэнерго» составило 9% (699 технологических нарушений) от общего количества аварий [1], для филиала ПАО МРСК Северо-Запад «Карел-энерго» – 16,7% (107 технологических отключений) [10, с.375].

Как видно из таблицы 1, для данных территорий будет увеличиваться количество твердых АО в зимний период, количество жидких АО в другие сезоны года. Это значит, будет увеличиваться вероятность возникновения аварийных ситуаций в электросетевом комплексе.

Таким образом, АО оказывают большое значение на работу объектов энергетики. Однако помимо повышения безопасных условий необходимо также предотвращать масштабные последствия. В области энергетики рост числа осадков отрицательно влияет на прочность и надежность ВЛ, на безопасность различного электрооборудования, на экономичность энергоустановок за счет намокания открытых угольных площадок и др. Поэтому необходимо изучать влияние климатических факторов на все сферы жизнедеятельности и реализовывать мероприятия для повышения безопасности.

Список литературы

1. Приложение №1. Сведения о техническом состоянии сетей ООО «Башкирэнерго» [Электронный ресурс]. <https://www.bashkirenergo.ru/consumers/standards-disclosure/> (дата обращения: 20.11.2018)
2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ; сост.: М. Ю. Бардин [и др.]. - М. : [б. и.], 2019. - 79 с.
3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2014 год / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ; сост.: Г. В. Груза [и др.]. - М. : [б. и.], 2015. - 107 с.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2015 год / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ; сост.: Г. В. Груза [и др.]. - М. : [б. и.], 2016. - 68 с.
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ; сост.: Г. В. Груза [и др.]. - М. : [б. и.], 2017. - 70 с.
6. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ; сост.: М. Ю. Бардин [и др.]. - М. : [б. и.], 2018. - 69 с.
7. Клименко В. В., Терешин А. Г. Мировая энергетика и глобальный климат в XXI в. в контексте исторических тенденций: Пределы роста // Универсальная и глобальная история. Эволюция Вселенной, Земли, жизни,

общества / под ред. Л. Е. Гринина, И. В. Ильина, А. В. Коротаева. Волгоград : Учитель, 2012. С. 608–621.

8. Клименко В.В. Гидроэнергетика России в условиях глобальных изменений климата [Текст] / В. В. Клименко, Е. В. Федотова // Доклады Академии наук. - 2019. - Т. 484, № 2, январь. - С. 156-160.

9. Изменение климата России в 21-м веке. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/izmenenie-klimata-rossii-v-21-veke> (дата обращения: 15.08.2019).

10. Выявление климатических факторов, влияющих на надежность воздушных линий электропередачи / Кондратьева О.Е., Мясникова Е.М., Локтионов О.А., Воронков Д.А. // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем: сборник научных трудов 7-й Международной научно-технической конференции (30-31 мая 2019 года), Том 1, Курск: Юго-Зап. Гос. Ун-т, 2019. – С. 373-377.

References

1. Annex 1. Information about the technical condition of the electrical grid of ООО «Bashkirenergo» [Electronic resource]. <https://www.bashkirenergo.ru/consumers/standards-disclosure/> (date of application: 10.01.2019)/

2. Report on the features of the climate in the Russian Federation for 2018 / Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia ; comp.: M. Y. Bardin [et al.]. - M.: [no ed.], 2019. - 79 p.

3. Report on the features of the climate in the Russian Federation for 2014 / Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia ; comp.: G. V. Gruzova [et al.]. - M.: [no ed.], 2015. - 107 p.

4. Report on the features of the climate in the Russian Federation for 2015 / Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia ; comp.: G. V. Gruzova [et al.]. - M.: [no ed.], 2016. - 68 p.

5. Report on the features of the climate in the Russian Federation for 2016 / Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia ; comp.: G. V. Gruzova [et al.]. - M.: [no ed.], 2017. - 70 p.

6. Report on the features of the climate in the Russian Federation for 2017 / Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia ; comp.: M. Y. Bardin [et al.]. - M.: [no ed.], 2018. - 69 p.

7. Klimenko V. V., Tereshin A. G. World energy and global climate in the XXI century in the context of historical trends: The limits of growth / / Universal and global history. Evolution of the Universe, Earth, life, society / ed. L. E. Grinina, I. V. Ilyina, A. V. Korotaeva. Volgograd: Uchitel, 2012. P. 608-621.

8. Klimenko V.V. Hydropower in Russia under global climate change [Text] / V. V. Klimenko, E. V. Fedotova / / Reports of the Academy of Sciences. - 2019. - T. 484, No. 2, January. – P. 156-160.

9. Climate change in Russia in the 21st century. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/izmenenie-klimata-rossii-v-21-veke> (date of application: 13.08.2019).

10. Identification of climatic factors affecting on the reliability of electrical transmission lines / Kondrateva O. E., Myasnikova E. M., Loktionov O. A., Voronkov D. A. // Quality management at the stages of the life cycle of technical and technological systems: collection of scientific papers of the 7th International scientific and technical conference (30-31 may 2019), Book 1, Kursk: Yugo-Zap. State University, 2019. - P. 373-377.