

УДК 621.3

DOI: 10.24160/1993-6982-2018-4-71-77

К оценке последствий воздействия климатических явлений на электросетевое хозяйство Москвы

Е.Г. Гашо, С.В. Гужов, А.А. Кролин, Д.А. Фрей, Н.М. Губочкин

Москва — один из холодных крупных мегаполисов планеты, а его топливно-энергетический комплекс — основа разветвленной и сложной системы жизнеобеспечения города. Потребности Москвы составляют в среднем 93...97 млн Гкал тепловой энергии и 54,5 млрд кВт·ч электрической энергии в год. Для устойчивого электроснабжения московского энергоузла необходимо наличие разветвленных передающих сетей, функционирующих с требуемым уровнем надежности при любых погодных условиях. Наиболее подвержены опасным климатическим явлениям воздушные линии электропередач. Выявленные зависимости от климатических факторов функций потоков отказов элементов магистральных (напряжением 220 и 500 кВ) и распределительных (до 110 кВ) электрических сетей позволяют прогнозировать частоту отказов.

Сложный характер зависимостей экономических ущербов, возникающих от климатического воздействия в электросетевом хозяйстве, а также неопределенность и сложность формализации задачи расчета адаптационного потенциала определяют актуальность исследуемой темы.

Представлен алгоритм количественной оценки уязвимости электросетевого хозяйства Москвы к проявлениям изменения климата, определен ожидаемый ущерб от обрывов проводов ВЛЭП уровней напряжений до 110 и свыше 220 кВ от опасных природных явлений (ОПЯ), приведены предложения по адаптационным мероприятиям, направленным на снижение ущербов электросетевого комплекса города от опасных природных явлений.

Ключевые слова: оценка уязвимости, опасные климатические явления, обрыв проводов, омические потери, адаптационные мероприятия.

Для цитирования: Гашо Е.Г., Гужов С.В., Кролин А.А., Фрей Д.А., Губочкин Н.М. К оценке последствий воздействия климатических явлений на электросетевое хозяйство Москвы // Вестник МЭИ. 2018. № 4. С. 71—77. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-4-71-77.

On Assessing the Effect of Climatic Phenomena on the Moscow Electric Network Facilities

E.G. Gasho, S.V. Guzhov, A.A. Krolin, D.A. Frey, N.M. Gubochkin

Moscow is one of the planet's major megalopolises located in the cold climate zone, and its fuel and energy complex serves as the basis of the highly branched and intricate habitability supporting systems of the city. On the average, Moscow consumes 93–97 million Gcal of heat and 54.5 billion kWh of electricity per annum. For securing stable power supply to the Moscow load center, an extensive system of transmission networks operating with the required level of reliability under all weather conditions must be available. Overhead power lines are the network components most susceptible to hazardous climatic phenomena. The functional dependences of failure flows on climatic factors that have been established for the components of transmission (220 and 500 kV) and distribution (up to 110 kV) networks allow failure rates to be predicted.

An intricate nature of the dependences of economic damages arising from the effect of climatic factors in the electric network facilities, as well as the uncertainty and complexity of formalizing the problem of calculating the adaptation potential determine the relevance of the topic under study. The article presents an algorithm for quantitatively assessing the vulnerability of the Moscow electric network facilities to climate change phenomena. The damage expected from the breaks of wires in high-voltage overhead lines of voltage levels up to 110 kV and over 220 kV caused by hazardous natural phenomena is evaluated, and proposals for taking adaptation measures aimed at reducing damages inflicted to the city's electric grid system by hazardous natural phenomena are given.

Key words: vulnerability assessment, hazardous climatic phenomena, wire breaks, ohmic losses, adaptation measures.

For citation: Gasho E.G., Guzhov S.V., Krolin A.A., Frey D.A., Gubochkin N.M. On Assessing the Effect of Climatic Phenomena on the Moscow Electric Network Facilities. MPEI Vestnik. 2018;4:71—77. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2018-4-71-77.

Наиболее уязвимыми структурными элементами электросетевого хозяйства Москвы являются трансформаторные подстанции и распределительные устройства, устройства релейной защиты и автоматики, воздушные линии электропередач (ВЛЭП), кабельные распределительные линии [1].

Проанализирована статистика ПАО «МОЭСК» и ПАО «ФСК ЕЭС» (МЭС Центра) по отказам ВЛЭП, относящихся ко всем сетям, находящимся на балансе данных предприятий, в результате опасных климатических явлений (ОЯ) за последние 7 лет. Речь идет о ВЛЭП высоковольтной распределительной сети до 110 кВ (от 6 до 110 кВ включительно) и магистральных линиях 220 кВ и выше (220, 500 и 750 кВ). Подобная разбивка сделана ввиду наличия различных собственников данных сетей — ПАО «МОЭСК» и около 40 мелких собственников (до 110 кВ), а также ПАО «ФСК ЕЭС» (МЭС Центра) (220 кВ и выше).

С учетом того, что территорией обслуживания ПАО «МОЭСК» является вся Московская область, включая Москву, Троицкий и Новомосковский административные округа (ТиНАО), целесообразна корректировка фактических (по годам) и прогнозных значений ущербов на ВЛЭП пропорционально и в соответствии с данными программы перспективного развития электроэнергетики города Москвы на 2017 — 2022 гг. [2]. Аналогичная корректировка на протяженность электрических сетей ПАО «МОЭСК», приходящихся на территорию Москвы и ТиНАО, проведена при расчете величины омических потерь в периоды аномально жаркой и холодной погоды. Прини-

мая во внимание также тот факт, что на балансе ПАО «ФСК ЕЭС» (МЭС Центра) находятся только около 16 % всех ВЛЭП 220 кВ, представляется необходимым также ввести поправочный коэффициент b к полученным ранее статистическим данным отказов магистральных сетей.

Предварительно исследованы все иные виды климатических воздействий на ВЛЭП, включая высокие и низкие температуры, влажность, сильный или продолжительный дождь, повышенные ветровые нагрузки [3 — 14]. Из всех видов ущерба выбраны только те, которые приводят к максимальным финансовым потерям собственников сетей. К ним относятся затраты, связанные с необходимостью внеплановой замены оборудования, что возникает практически только при сильных ветровых нагрузках в сочетании с ледяным дождем или повышенным износом линий. Оставшиеся виды воздействий, включая грозовые перенапряжения, повышенные омические потери в жаркие периоды летом или холодные периоды зимой, а также потери на корону, также изучены, но не включены в список наиболее опасных по разным причинам. Так, статистика аварийных отключений ПАО «ФСК ЕЭС» (МЭС Центра) свидетельствует, что в результате воздействия разряда молнии практически всегда происходит кратковременное отключение линии с дальнейшим срабатыванием автоматического повторного включения (АПВ). Финансовые потери в данном случае образуются у потребителей, но не у сетевой компании. Результирующие прогнозные значения частот отказов, связанных с конструктивными разрушениями элементов ВЛЭП, приведены в табл. 1. Фактические значения получены,

Таблица 1

Фактические и прогнозные значения частот отказов ВЛЭП в результате неблагоприятных природных явлений

Значение	Годы	Число обрывов проводов ВЛЭП в результате высоких ветровых нагрузок		Омические потери в сетях ПАО «МОЭСК»	
		220 и 500 кВ, шт.	до 110кВ включительно, шт.	в периоды аномально холодной погоды, 10^6 кВт·ч	в периоды аномально жаркой погоды, 10^6 кВт·ч
Фактические	2010	180	594	2,18	87,5
	2011	150	601	2,73	29,2
	2012	144	23	2,55	14,5
	2013	84	92	1,27	10,9
	2014	6	101	2,09	25,5
	2015	18	219	1,82	10,9
	2016	12	194	1,45	9,10
	2011-2016	384	1230	11,91	100,1
Прогнозные	2017-2021	90	785	8,1	57,8
	2021-2025	120	600	9,0	70,0
	2026-2030	108	533	7,3	66,7
	2031-2035	96	500	8,3	68,3
	2036-2040	90	467	7,3	66,7
	2041-2045	84	433	6,7	66,7

исходя из статистики ПАО «МОЭСК» с корректировкой на охват территории Москвы и ТиНАО, а прогнозные — на основании прогнозных функций.

Тренд снижения частот прогнозных значений обусловлен подтверждающимися фактами масштабных вложений в обновление электросетевого комплекса, а также в адаптационные мероприятия к изменениям климата (программы по расширению просек, принятые ПАО «ФСК ЕЭС» (МЭС Центра) и ПАО «МОЭСК» после катастрофических последствий, вызванных ледяным дождем 2010 г.), результаты которых видны, исходя из анализа статистических данных за 2011 — 2016 гг. Причиной уменьшения прогнозных значений отказов является также факт прогнозов климатологов, свидетельствующий о небольшом сокращении числа ОЯ в ближайшем будущем.

Поскольку прогнозирование погодных явлений имеет под собой некоторую погрешность, в дальнейших расчетах учитываются не только частоты ОЯ, но также и прогнозные факты возникновения неблагоприятных климатических явлений.

Экономическая оценка ущерба при ликвидации последствий воздействия ОЯ на электросетевой комплекс проводится только в случае сильных ветровых нагрузок и экстремальной жары. При этом анализ ущерба в результате ветровых нагрузок выполняется только для случаев конструктивных разрушений элементов ВЛЭП, к которым по величине стоимости ликвидации относится замена проводов и в некоторых случаях гирлянд изоляторов. Экстремальная жара и «волны тепла» в дальнейшем не изучаются, поскольку увеличение омических потерь не приводит к деформации конструкции ВЛЭП.

Для оценки средней величины ущерба от одной аварии, связанной с обрывом проводов на ВЛЭП 220 кВ, по стоимости замены проводов с учетом затрат рабочего времени и стоимости техники, ГСМ и расходных материалов, применялись усредненные данные ПАО «ФСК ЕЭС» (МЭС Центра) [15]. Взяты следующие допущения:

- среднегодовая инфляция за расчетные периоды составляет 4 % в год: 104,7 — на 2017 г., 103,7 — на 2018 г. и т.д. [16];
- тариф для ПАО «МОЭСК» по закупке у ОАО «Атомэнергосбыт» электрической энергии для компенсации потерь, превышающих объем потерь, учтенных в сводном прогнозном балансе как 1,67...1,73 руб./кВт·ч, принят в среднем 1,7 руб./кВт·ч [17];
- прогнозируемый рост тарифа на передачу электрической энергии за расчетные периоды находится на уровне 5 % в год.

Средняя стоимость аварийно-восстановительных работ (АВР) по сетям ПАО «МОЭСК» до 110 кВ получена путем усреднения смет на проведение подобных работ на ВЛЭП напряжением от 6 до 110 кВ в 2016 — 2017 гг. и составляет порядка 650 000 руб. на

один случай ликвидации последствий. Подвеска группы из трех проводов ВЛЭП 220 кВ сечением свыше 240 мм² без пересечений и грозозащитного троса при длине анкерного пролета до 1 км, включая стоимость материалов, работ, затрат на перебазирование техники, ГСМ, составила от 1,05 до 1,4 млн руб. (2016 г.). Таким образом, средний ущерб по одной АВР по восстановлению проводов ВЛЭП 220 кВ равен 1,2 млн руб. (2016 г.).

В рамках принятых допущений ожидаемый ущерб от обрывов проводов с учетом прогнозных значений ОЯ в период с 2017 по 2020 гг. включительно составит около 657 млн руб. по всей энергосистеме Москвы. Увеличение омических потерь при передаче электроэнергии в периоды аномальной жары и холода ожидается на величину порядка 121 млн руб., при этом около 90 % этих потерь приходится именно на случаи прогнозируемой экстремально жаркой погоды.

Результаты расчетов показали, что при анализе горизонта 2021 — 2025 гг. ущерб от омического нагрева сетей при аномальной жаре составит: 26 млн руб. в сетях от 220 кВ и 200 млн руб. в сетях до 110 кВ, что суммарно составляет 226 млн руб. за весь пятилетний период. Ущерб от обрывов проводов в результате сильного ветра за тот же период составит 676 млн руб. суммарно по всем ВЛЭП Москвы и ТиНАО. За период 2026 — 2030 гг. суммарный ущерб по всем сетям в результате омических потерь от ОЯ составит 239 млн руб., а от обрывов проводов в результате чрезмерных ветровых нагрузок — 734 млн руб. Подробные расчетные данные по ожидаемым ущербам в системах электроснабжения Москвы в результате выбранных ОЯ на ближайшую и долгосрочную перспективы приведены в табл. 2.

Следует отметить, что увеличение омических потерь в воздушных и кабельных ЛЭП в периоды аномально жаркой и холодной погоды за счет резкого увеличения потребления электроэнергии не приводит к прямым ущербам для сетевых компаний, поскольку данные потери компенсируются увеличением количества передаваемой энергии, что создает для компаний дополнительные финансовые потоки. В соответствии с этим в качестве прямых ущербов для электросетевого комплекса Москвы целесообразно рассматривать только затраты на проведение аварийно-восстановительных работ при ликвидации последствий воздействия ОЯ на ВЛЭП. Суммарные оценки ущербов от ОЯ на электросетевой комплекс Москвы даны в табл. 3.

Таким образом, анализ статистики по проведению АВР в сетях ФСК и ПАО «МОЭСК» показал, что из всех рассматриваемых видов ОЯ наибольшее отрицательное воздействие оказывают высокие ветровые нагрузки. При этом, ущерб от несанкционированных действий, связанный с незаконной вырубкой деревьев, добычей грунта и т.д., от 5 до 10 раз превышает потери сетевых компаний по причине указанных погодных явлений. Другим немаловажным аспектом является прак-

Таблица 2

Прогнозируемый ущерб системы электроснабжения Москвы, вызванный неблагоприятными природными явлениями

Тип ущерба	Прогнозные значения средних значений ущерба, млн руб.					
	2017 — 2020	2021 — 2025	2026 — 2030	2031 — 2035	2036 — 2040	2041 — 2045
Обрыв проводов магистральных ВЛЭП 220 — 500 кВ	115	182	200	216	246	280
Обрыв проводов распределительных ВЛЭП 6 — 110кВ	542	494	534	610	693	782
Омические потери в сетях в периоды аномально холодной погоды	15	26	31	43	63	74
Омические потери в сетях в периоды аномально жаркой погоды	106	200	208	272	338	432
Итого	778	902	973	1141	1340	1568

Таблица 3

Суммарные оценки ущерба от ОПЯ на электросетевой комплекс Москвы

Годы	Прогноз средних значений ущерба, связанного с воздействием ОПЯ на системы электроснабжения Москвы по пятилетиям, млн руб.
2017 — 2020	657
2021 — 2025	676
2026 — 2030	734
2031 — 2035	826
2036 — 2040	939
2041 — 2045	1062

тическая неосуществимость выявления тех участков сетей, которые в будущем будут подвергаться высоким ветровым нагрузкам, поскольку невозможно предсказать место их максимального приложения.

Наибольший ущерб достигается в тех случаях, когда действие повышенной ветровой нагрузки приходится на наиболее слабые звенья цепи. Превентивное выявление слабых участков возможно для ВЛЭП посредством проведения периодических осмотров и регламентных работ по их техническому обслуживанию. Однако для таких элементов линии, как провода, грозозащитные тросы, крепление гирлянд изоляторов заранее выявить ослабленные участки затруднительно. Следовательно, первым адаптационным мероприятием, не требующим дополнительных затрат, является своевременное проведение работ по техническому обслуживанию линейного оборудования.

Другим адаптационным мероприятием является расширение зоны отчуждения ВЛЭП, минимизирующее ущерб от падения деревьев. Программы по расширению зон вырубке деревьев в том или ином виде приняты к исполнению всеми сетевыми компаниями после ледяного дождя 2010 г. В настоящее время они

близятся к завершению, так, в ПАО «МОЭСК» данная программа завершится в 2018 г. Подобное адаптационное мероприятие также не требует дополнительных существенных финансовых затрат ввиду того, что эти затраты уже были включены в балансы сетевых компаний.

Наиболее распространенным и часто используемым адаптационным мероприятием является полная внеплановая замена тех сетей, сроки эксплуатации которых близки к завершению. Основная проблема в данном случае заключается в необходимости замены линии практически целиком при том, что существенно изношены только некоторые локальные элементы, т. е. ущерб от затрат на ремонт при обрыве ВЛЭП будет существенно меньше затрат на адаптацию к ОЯ.

Оценка затрат на такое адаптационное мероприятие проведена на примере ВЛЭП: напряжением 220 и 110 кВ при условии отнесения под внеплановую замену 20 % линий с наиболее ранними сроками введения их в эксплуатацию. Данное значение является граничным и достаточно близко к истинному техническому состоянию ВЛЭП. С учетом того, что протяженность ВЛЭП 220 кВ в Москве и ТиНАО составляет 570 км, а ВЛЭП 110 кВ — 760 км, расчет проводился для замены 114 и 152 км, соответственно.

Существует несколько способов расчета сметной стоимости замены ВЛЭП по укрупненным стоимостным показателям [18] и нормативным расценкам [19], а также согласно укрупненным коммерческим расценкам организаций, проводящих данные работы [20].

В расчетах стоимости замены проводов и изоляторов использовался способ расчета по укрупненным нормативам цены (УНЦ), поскольку более 90 % всех сетей находятся на балансе двух организаций: ПАО «ФСКЭС» и ПАО «МОЭСК», имеющих собственную инвестиционную программу в Министерстве энергетики РФ. Стоимость замены ВЛЭП учитывается по минимальному варианту, как одноцепной, поскольку затраты на строительство двухцепной ВЛЭП больше.

Результатом расчета являются средние стоимости замены 1 км ВЛЭП. В случае замены только провода и изоляции стоимость составит 7 490 тыс. руб. для 1 км ВЛЭП 110 кВ и 13 418 тыс. руб. для ВЛЭП 220 кВ. Суммарная стоимость равна 2,7 млрд руб., что превышает всю сумму прогнозируемого ущерба от повышенной ветровой нагрузки на период до 2030 г., составляющую около 2 млрд руб. С учетом того, что основная часть прогнозируемого ущерба относится к ВЛЭП напряжением до 110 кВ, данное адаптационное мероприятие направлено на предотвращение лишь меньшей части ущерба, точный расчет которой не имеет смысла ввиду превышения стоимости адаптации размера всего возможного ущерба. Поскольку инвестировать сумму 2,7 млрд руб. необходимо почти одновременно, а предотвращаемый ущерб должен наступать в течение длительного срока, то при учете изменения стоимости денег затраты на адаптацию будут больше суммы полученных выгод в несколько раз. Очевидно, что данное адаптационное мероприятие экономически неэффективно.

Основываясь на проведенных расчетах, становится очевидным, что система электрических распределительных сетей Москвы в достаточной мере адаптирована к ожидаемым в ближайшие десятилетия воздействиям, связанным с частотой возникновения и амплитудой опасных природных явлений. Вся адаптация изначально базируется на высокой надежности элементов системы электроснабжения и регламентах по их эксплуатации и обслуживанию.

Литература

1. **Всероссийский** научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации [Официальный сайт] <http://mete.ru/data> (дата обращения 01.10.2017).
2. **Распоряжение** Мэра Москвы №288-РМ от 28.04.17 г. «Схема и программа перспективного развития электроэнергетики города Москвы на 2017 — 2022 гг.».
3. **Stocker, T.F. e. a.** IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: University Press, 2013.
4. **Semenov V.A. e. a.** The Impact of North Atlantic-Arctic Multidecadal Variability on Northern Hemisphere Surface Air Temperature // *J. Climate*. 2010. V. 23. Pp. 5668—5677.
5. **Pachauri R.K., Reisinger A.** Climate Change 2007: Synthesis Rep. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2007.
6. **Managing** the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
7. **Wang W. e.a.** Quantifying Tree and Soil Carbon Stocks in a Temperate Urban Forest in Northeast China // *Forests*. 2016. V. 7. P. 200.
8. **Lorenz K., Lal R.** Biogeochemical C and N cycles in urban soils // *Environment Internat.* J. 2009. V. 35. No. 1. Pp. 1—8.
9. **Monckton C. e. a.** Why Models Run Hot: Results from an Irreducibly Simple Climate Model // *Sci.Bulletin*. 2015. V. 60. P. 122.
10. **Malakoff D.** (June 10, 2015). Journals Investigate Climate Sceptic Author's Ties to Fossil Fuel Firm as New Allegations Arise // *Science* [Электрон. ресурс] <http://www.sciencemag.org/news/2015/06/journals-investigate-climate-skeptic-author-s-ties-fossil-fuel-firm-new-allegations> (дата обращения 05.10.2017).
11. **Merchant B.** How Climate Change Denial Still Gets Published in Peer-Reviewed Journals // *Motherboard*. [Электрон. ресурс] https://motherboard.vice.com/en_us/article/bmjpg5/peer-reviewing-climate-denial (дата обращения 03.10.2017).
12. **Tollefson J.** Documents Spur Investigation of Climate Sceptic // *Nature*. [Электрон. ресурс] <https://www.scientificamerican.com/article/documents-spur-investigation-of-climate-skeptic> (дата обращения 07.10.2017).
13. **Klimenko M. e. a.** Auroral, Geomagnetic and Ionospheric Disturbances During St. Patrick's Day Geomagnetic Storms in 2013 and 2015 // *Proc. Eighth Workshop Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere*. Sunny Beach, 2016. Pp. 53—58.
14. **Niedzwiedz T. e. a.** The Historical Time Frame (Past 1000 Years) Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies Series. Heidelberg, N.-Y., Dordrecht, London: Springer, 2015. Pp. 51—68.
15. **Итоги** реализации годовых инвестиционных программ ПАО «ФСК ЕЭС» [Официальный сайт] http://www.fsk-ees.ru/investments/results_of_implementation_of_annual_investment_programs/ (дата обращения 10.09.2017).
16. **Письмо** Минэкономразвития России № 28175-АВ/Д03 от 16.09.2016 г. «Об ожидаемых итогах социально-экономического развития в 2016 году и уточненном прогнозе социально-экономического развития на плановый период 2017 и 2018 годов» [Электрон. ресурс] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215956/d2dfd96fc2cee215fa4b5f771852b9f47b4d3f8b/ (дата обращения 15.10.2017).
17. **ПАО «МОЭСК»** [Официальный сайт] <http://www.moesk.ru/client/tariffs/> (дата обращения 01.11.2017).
18. **Укрупненные** стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35 — 750 кВ».

Ч. 1. Укрупненные стоимостные показатели магистральных линий электропередачи и подстанций напряжением 35 — 750 кВ ОАО «ФСК ЕЭС» [Электрон. ресурс] https://deloros.ru/FILEB/Sbornik_FSK.pdf (дата обращения 05.10.2017).

19. **НЦС 81-02—2012.** Нормативы цены строительства.

20. **МДС 81-35.2004.** Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации.

References

1. **Vserossiyskiy** Nauchno-issledovatel'skiy Institut Gidrometeorologicheskoy Informatsii [Ofits. Sayt] <http://meteo.ru/data> (Data Obrashcheniya 01.10.2017). (in Russian).

2. **Rasporyazhenie** Mera Moskvyy №288-RM ot 28.04.17 g. «Skhema i Programma Perspektivnogo Razvitiya Elektroenergetiki Goroda Moskvyy na 2017 — 2022 gg.». (in Russian).

3. **Stocker, T.F. e. a.** IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: University Press, 2013.

4. **Semenov V.A. e. a.** The Impact of North Atlantic-Arctic Multidecadal Variability on Northern Hemisphere Surface Air Temperature. *J. Climate*. 2010;23:5668—5677.

5. **Pachauri R.K., Reisinger A.** Climate Change 2007: Synthesis Rep. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2007.

6. **Managing** the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

7. **Wang W. e.a.** Quantifying Tree and Soil Carbon Stocks in a Temperate Urban Forest in Northeast China. *Forests*. 2016;7:200.

8. **Lorenz K., Lal R.** Biogeochemical C and N cycles in urban soils. *Environment Internat.* J. 2009;35;1:1—8.

9. **Monckton C. e. a.** Why Models Run Hot: Results from an Irreducibly Simple Climate Model. *Sci.Bulletin*. 2015;60:122.

10. **Malakoff D.** Journals Investigate Climate Skeptic Author's Ties to Fossil Fuel Firm as New Allegations Arise. *Science* [Elektron. Resurs] <http://www.sciencemag.org/news/2015/06/journals-investigate-climate-skeptic-author-s-ties-fossil-fuel-firm-new-allegations> (Data Obrashcheniya 05.10.2017).

11. **Merchant B.** How Climate Change Denial Still Gets Published in Peer-Reviewed Journals. *Motherboard*. [Elektron. Resurs] https://motherboard.vice.com/en_us/

[article/bmjpg5/peer-reviewing-climate-denial](https://motherboard.vice.com/en_us/article/bmjpg5/peer-reviewing-climate-denial) (Data Obrashcheniya 03.10.2017).

12. **Tollefson J.** Documents Spur Investigation of Climate Sceptic. *Nature*. [Elektron. Resurs] *Nature Publishing* <https://www.scientificamerican.com/article/documents-spur-investigation-of-climate-skeptic> (Data Obrashcheniya 07.10.2017).

13. **Klimenko M. e. a.** Auroral, Geomagnetic and Ionospheric Disturbances During St. Patrick's Day Geomagnetic Storms in 2013 and 2015. *Proc. Eighth Workshop Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere*. Sunny Beach, 2016:53—58.

14. **Niedźwiedz T. e. a.** The Historical Time Frame (Past 1000 Years) Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. *Regional Climate Studies Series*. Heidelberg, N.-Y., Dordrecht, London: Springer, 2015:51—68.

15. **Itogi** Realizatsii Godovyh Investitsionnyh Programm PAO «FSK EES» [Ofits. Sayt] http://www.fsk-ees.ru/investments/results_of_implementation_of_annual_investment_programs/ (Data Obrashcheniya 10.09.2017). (in Russian).

16. **Pis'mo** Minekonomrazvitiya Rossii № 28175-AV/D03 ot 16.09.2016 g. «Ob Ozhidaemyh Itogah Sotsial'no-ekonomicheskogo Razvitiya v 2016 Godu i Utochnennom Prognose Sotsial'no-ekonomicheskogo Razvitiya na Planovyy Period 2017 i 2018 Godov» [Elektron. Resurs] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215956/d2dfd96fc2cee215fa4b5f771852b9f47b4d3f8b/ (Data Obrashcheniya 15.10.2017). (in Russian).

17. **PAO «MOESK»** [Ofits. Sayt] <http://www.moesk.ru/client/tariffs/> (Data Obrashcheniya 01.11.2017). (in Russian).

18. **Ukrupnennyye** Stoimostnyye Pokazateli Liniy Elektroperedachi i Podstantsiy Napryazheniem 35 — 750 kV». Ch. 1. Ukrupnennyye Stoimostnyye Pokazateli Magistral'nyh Liniy Elektroperedachi i Podstantsiy Napryazheniem 35 — 750 kV ОАО «ФСК ЕЭС» [Elektron. Resurs] https://deloros.ru/FILEB/Sbornik_FSK.pdf (Data Obrashcheniya 05.10.2017). (in Russian).

19. **NTSS 81-02—2012.** Normativy Tseny Stroitel'stva. (in Russian).

20. **MDS 81-35.2004.** Metodika Opredeleniya Stoimosti Stroitel'noy Produktsii na Territorii Rossiyskoy Federatsii. (in Russian).

Сведения об авторах

Гашо Евгений Геннадьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры промышленных теплоэнергетических систем НИУ «МЭИ», e-mail: 290461@bk.ru

Гужов Сергей Вадимович — кандидат технических наук, доцент кафедры теплообменных процессов и установок, заместитель начальника отдела энергоменеджмента НИУ «МЭИ», e-mail: GuzhovSV@yandex.ru

Кролин Александр Александрович — кандидат экономических наук, начальник отдела энергоменеджмента НИУ «МЭИ», e-mail: akrolin@mail.ru

Фрей Диана Аркадьевна — кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики в энергетике и промышленности НИУ «МЭИ», e-mail: FreyDA@mpei.ru

Губочкин Николай Михайлович — главный специалист службы планирования, финансирования и отчетности Филиала ПАО «ФСК ЕЭС» (МЭС Центра), e-mail: nikols109@mail.ru

Information about authors

Gasho Evgeniy G. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Industrial Heat Engineering Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: 290461@bk.ru

Guzhov Sergey V. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Heat-and-Mass Exchange Processes and Installations Dept., Deputy Head of Management in Power Engineering Dept., NRU MPEI, e-mail: GuzhovSV@yandex.ru

Krolin Aleksandr A. — Ph.D. (Econ.), Head of Management in Power Engineering Dept., NRU MPEI, e-mail: akrolin@mail.ru

Frey Diana A. — Ph.D. (Econ.), Assistant Professor of Economics in Power Engineering and Industry Dept., NRU MPEI, e-mail: FreyDA@mpei.ru

Gubochkin Nikolay M. — Chief Specialist of Planning, Funding and Reporting Branch of FGC «FSK UES» (MES of Center), e-mail: nikols109@mail.ru

Статья поступила в редакцию 02.10.2017