

**ВЛИЯНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА
НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ОТРАСЛЬ
(НА ПРИМЕРЕ ПСКОВСКОЙ, СМОЛЕНСКОЙ
И БРЯНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ)**

Е. М. Акентьева, М. В. Клюева, Д. В. Фасолько

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7
E-mail: eakentyeva@mail.ru

Поступила в редакцию 02.12.2019
Поступила после доработки 18.12.2019

Введение

Энергетика является одним из наиболее климатозависимых секторов экономики. В Пятом докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата констатируется, что изменение климата будет влиять как на предложение, так и на спрос в энергетическом секторе, что неизбежно повысит чувствительность сектора к состоянию климатической системы. В этих обстоятельствах исследование воздействия климатических условий на объекты производства и передачи энергии становится одним из решающих факторов надежного обеспечения электрической и тепловой энергией всех категорий потребителей.

Для энергетической отрасли также чрезвычайно важна организация своевременного учета и прогнозирования энергетической продукции, специфика которой заключается в том, что ее практически невозможно накапливать и сохранять.

В данной статье представлен анализ основных наиболее опасных метеорологических явлений, неучет которых при выборе места размещения, проектировании и строительстве энергетических

объектов может нанести ущерб энергетической инфраструктуре и подвергнуть опасности окружающие населенные пункты (Руководство..., 2008).

Структура энергетической отрасли энергетики Псковской, Смоленской и Брянской областей

Энергетика Псковской, Смоленской и Брянской областей представлена в основном тепловыми электростанциями и Смоленской АЭС. Основным производителем электроэнергии в Псковской области является работающая на природном газе Псковская ГРЭС мощностью 440 МВт. Высоковольтные ЛЭП связывают Псковскую ГРЭС с Беларуссией, Латвией и Литвой. В Смоленской области функционирует Смоленская АЭС (3000 МВт), Смоленская ГРЭС (630 МВт) и две ТЭЦ — Дорогобужская (90 МВт) и Смоленская (275 МВт). Топливом для них служит природный газ и уголь. На территории Брянской области расположена Брянская ГРЭС (38 МВт) и Клинецовская ТЭЦ (12 МВт).

Передача электроэнергии производится по линиям электропередач (ЛЭП). Различают воздушные и кабельные линии электропередач. Наиболее распространены воздушные линии (ВЛ), прокладка которых происходит на открытом воздухе с помощью высоковольтных кабелей, так как по сравнению с кабельными линиями они экономически более выгодны. Однако их уязвимость со стороны климатических воздействий значительно выше.

Электроэнергетический комплекс Псковской области обслуживается Псковской региональной энергетической системой, входящей в Объединенную энергосистему Северо-Запада. Общая протяженность ЛЭП напряжением 110 кВ и выше на территории Псковской области по состоянию на 01.01.2019 года составляет 3021,71 км.

Смоленская энергосистема является избыточной по производству и поэтому имеет возможность поставлять электроэнергию на оптовый рынок. Основная передача электрической энергии осуществляется в Брянскую, Калужскую, Рязанскую, Тверскую энергосистемы, а также в энергосистему Республики Беларусь. По данным на 2017 год

протяженность ЛЭП напряжением 110 кВ и выше на территории Смоленской области составляет 3262,6 км.

Брянская область относится к числу энергодефицитных регионов. По данным на 2017 год протяженность ЛЭП напряжением 110 кВ и выше в Брянской области составляет 3759,6 км.

Таким образом, общая протяженность ЛЭП в рассматриваемом районе превышает 10 тысяч километров.

Влияние изменений климатических условий на функционирование АЭС и ТЭС

Одним из важнейших факторов, влияющих на производство энергии на АЭС и ТЭС, является резкое изменение термического режима, с которым связаны условия охлаждения энергоблоков (Rademaekers et al., 2010).

Примером воздействия изменений температурного режима на производство электроэнергии на ТЭС и АЭС может служить ситуация, сложившаяся летом 2010 г. на Европейской территории России.

В условиях аномальной жары, когда высокие температуры наружного воздуха держались не только в дневные, но и в ночные часы, повышалась температура циркуляционной воды на входе в конденсаторы турбин до 35—38 °С, на некоторых ТЭС до 40 °С. В результате этого снижалась максимальная мощность генерирующего оборудования. Кроме того, повышение температуры охлаждающей воды привело к тяжелым условиям работы систем газо- и маслоохлаждения турбин. Из-за жары и засухи в этот период гидростанции Волжско-Камского каскада, вырабатывающие значительную долю электричества в европейской части России, работали с минимальной загрузкой, что еще больше увеличило нагрузку на атомные и тепловые электростанции. В результате на ряде АЭС произошли аварийные остановки энергоблоков. Анализ метеорологических условий в период аварийных остановок энергоблоков показал, что в районах расположения АЭС сложились экстремальные погодные условия. Так, температура наиболее жаркой

пятидневки, являющаяся важным показателем температурного режима для систем охлаждения, превысила эту характеристику относительно периода 1961—1990 гг. на 5—10 °С.

Рассмотрим климатические факторы, отражающие критические состояния окружающей среды, при которых могут возникнуть занормативные состояния систем охлаждения агрегатов электростанций в теплый период года:

— максимальное годовое число последовательных сухих (с осадками менее 1 мм) дней в течение теплого периода года (Consecutive dry days — CDD);

— продолжительность самой длинной волны тепла в году (волна тепла — не менее трех последовательных суток с минимальной и максимальной температурой воздуха выше 90 % обеспеченности) (Heat wave duration — HWD);

— число периодов, когда последовательно отмечались сутки (не менее 5) с максимальной и минимальной температурой воздуха выше 95 % обеспеченности (5TX5TN).

Для количественных оценок наблюдаемых изменений перечисленных специализированных климатических параметров использовался массив суточных данных ВНИИГМИ-МЦД

по температуре воздуха и осадкам с 1936 по 2018 гг. для метеостанций Псков, Смоленск и Брянск. В качестве базового был принят период 1971—2000 гг. На рисунках 1—3 представлены изменения перечисленных выше параметров для метеостанции Брянск. Красной штриховой линией на всех рисунках обозначена линия локально взвешенной полиномиальной регрессии.

При анализе рассчитанных индексов можно отметить следующие основные закономерности:

— изменение максимального годового числа последовательных сухих (с осадками менее 1 мм) дней в течение теплого периода года на всех трех метеостанциях не является значимым; ошибка тренда превышает коэффициент тренда, и показатель значимости тренда (p -значение) колеблется в пределах от 0,333 до 0,859 при допустимом значении 0,05;

— увеличение продолжительности самой длинной волны тепла в году является значимым на всех рассматриваемых метеостанциях, так как величина p -значения находится в пределах от 0,01 (Смоленск) до 0,022 (Псков); значения коэффициентов линейного тренда на трех станциях довольно близки — от 0,072 (Псков) до 0,062 (Смоленск);

— число периодов, когда последовательно отмечались сутки (не менее 5) с максимальной и минимальной температурой воздуха выше 95 % обеспеченности, значимо возрастает на всех трех станциях. Наиболее существенный рост этой характеристики отмечается в Смоленске и Брянске. Заметим, что до 1990 года такие периоды в Смоленске вообще не наблюдались.

Таким образом, наибольшие риски для систем охлаждения АЭС и ТЭС характерны для Брянской и Смоленской областей.

По данным региональной климатической модели ФГБУ ГГО, на территории всех трех областей к середине XXI века прогнозируется увеличение непрерывной продолжительности, интенсивности и повторяемости волн тепла, что приведет к возрастанию рисков при производстве электрической и тепловой энергии.

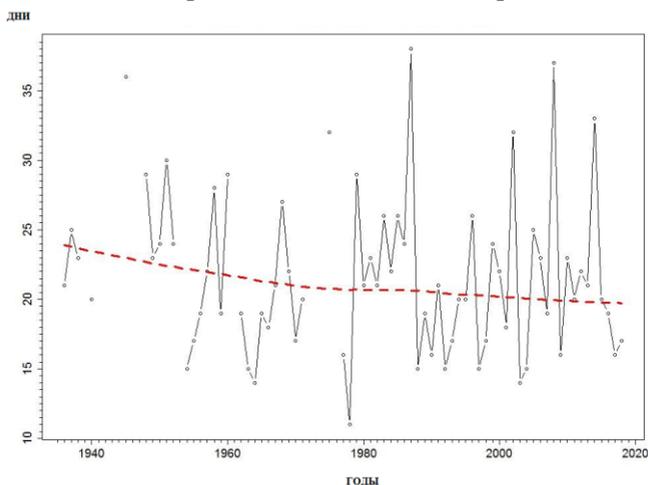


Рис. 1. Максимальное годовое число последовательных сухих (с осадками менее 1 мм) дней в течение теплого периода года. Брянск. Коэффициент линейного тренда — 0,029; ошибка тренда — 0,03; p -значение — 0,333.

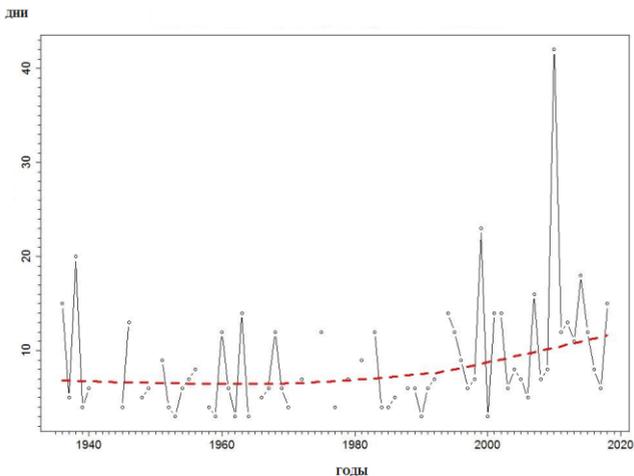


Рис 2. Продолжительность самой длинной волны тепла в году, дни. Брянск. Коэффициент линейного тренда — 0,07; ошибка тренда — 0,03; p -значение — 0,021.

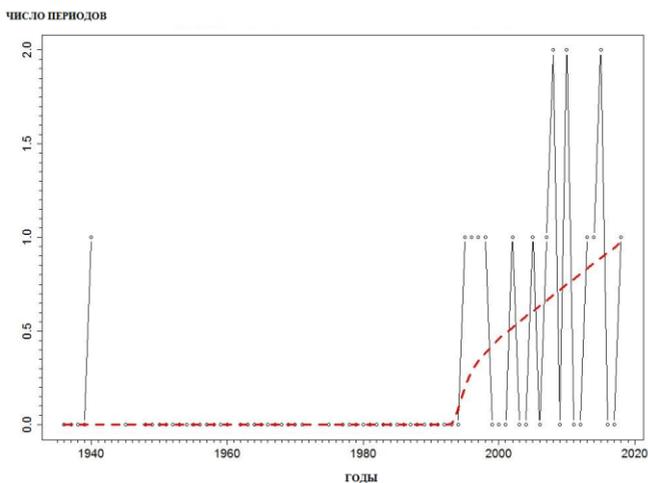


Рис 3. Число периодов, когда последовательно отмечались сутки (не менее 5) с максимальной и минимальной температурой воздуха выше 95 % обеспеченности, рассчитанной для наиболее жаркой пятидневки. Брянск. Коэффициент линейного тренда — 0,01; ошибка тренда — 0,002; p -значение — 0.

Следует также отметить, что в этих районах риски бесперебойной работы систем охлаждения энергоблоков электростанций, связанные с высокими температурами воздуха и охлаждающей воды, становятся еще более значимыми из-за увеличения потребления энергии на кондиционирование в летний период. Следовательно, возникает настоятельная необходимость в разработке адаптационных мер, способствующих безаварийной и эффективной работе АЭС и ТЭС.

Опасные метеорологические явления на территории Брянской, Смоленской и Псковской областей и их влияние на производство и передачу энергии

Отличительной особенностью современного климата является то, что при сравнительно небольших по величине изменениях средних значений наблюдаются значительные изменения статистики экстремумов. Для функционирования энергетической отрасли наиболее опасны два типа экстремальных явлений:

— кратковременные аномалии, превосходящие определенные пороговые значения (сильная жара (холод), сильный ветер, смерч, сильный снегопад, гололед, гроза и т. д.);

— длительные аномалии, в течение которых метеорологическая переменная или комплекс переменных выходит за заданные значения (волны тепла и холода, природные пожары).

На территории рассматриваемых областей ежегодно отмечаются опасные и особо опасные гидрометеорологические явления (ОЯ и ООЯ). Среднее годовое число случаев с ООЯ, нанесших экономический ущерб, составляет в Брянской области 7,4, в Смоленской — 6,5, в Псковской — 5,3 случая в год. Максимальное число опасных явлений за период с 1991 по 2018 гг. было зарегистрировано в 1991 году. Более 70 % ОЯ приходится на теплый период (апрель—октябрь) года.

Остановимся на некоторых из них, представляющих наибольшую опасность для энергетики. В первую очередь это относится к сильным ветрам, часто наблюдаемым на территории рассматриваемых областей (табл. 1). Свыше 30 % повторяемости чрезвычайных ситуаций связано

с этим ОЯ. Они наносят самый большой ущерб, так как развиваются неожиданно и очень быстро, их практически невозможно прогнозировать и к ним трудно заранее подготовиться. Инфраструктура электросетевого хозяйства страдает от ветра более всего: поломка опор, обрыв и свлестывание проводов, отключение электроэнергии, что составляет 50 % от последствий в других секторах экономики — ЖКХ, транспортном и аграрном.

Таблица 1

Повторяемость различных видов особо опасных явлений на территории Смоленской, Брянской и Псковской областей

ООЯ	Повторяемость ООЯ, %		
	Смоленская область	Брянская область	Псковская область
Ветер	35	37	38
Метель	4	9	7
Снег	11	16	11
Сильная жара	1	2	1
Сильный мороз	1	3	3
Чрезвычайная пожароопасность	16	13	12
Гололед	5	5	11
Сложные отложения	10	8	5
Гроза	14	7	12
Смерч	3	–	–

Воздушные линии электропередач в значительной степени подвержены ветровому воздействию. На рис. 4 показана межгодовая изменчивость максимальной скорости ветра и максимальной из средних скоростей ветра 10-минутного осреднения. Обе эти характеристики имеют тенденцию к уменьшению.

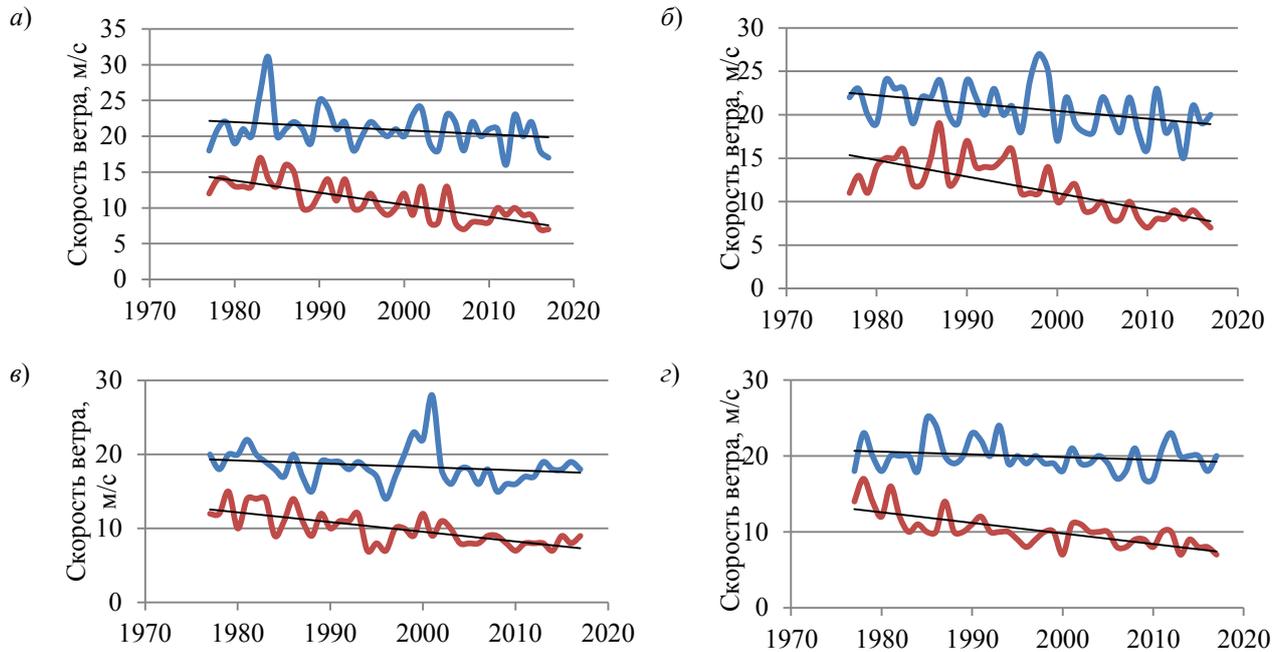


Рис. 4. Межгодовая изменчивость скорости ветра на метеостанциях Псков (а), Великие Луки (б), Брянск (в), Смоленск (г).

— Максимальная скорость ветра (порыв), м/с; — Максимальная из средних (10-минутное осреднение) скоростей ветра, м/с.

Наибольшую значимость имеет тренд максимальной из средних скоростей ветра 10-минутного осреднения, когда доля трендовой составляющей для выбранных метеостанций превышает 50 %.

Ветровое давление воздействует на провода, тросы и опоры ВЛ. Создавая поперечную нагрузку на провода и тросы, ветер увеличивает их натяжение. Давление ветра может вызвать поломку и падение опор.

Ветровая нагрузка, согласно СП 20.13330.2016, определяется по формуле:

$$W_0 = 0,43 \cdot V_{50}^2,$$

где V_{50} — скорость ветра на уровне 10 м над земной поверхностью, определяемая с 10-минутным интервалом осреднения и с периодом повторения 50 лет.

Для территории Брянской, Смоленской и Псковской областей информация о ветровых нагрузках приведена в табл. 2.

Таблица 2

Ветровая нагрузка на линии электропередач, по данным метеостанций Псков, Великие Луки, Брянск, Смоленск

Название станции	Высота, м	Область	Ветровая нагрузка, кПа
Псков	43	Псковская	0,13
Великие Луки	97	Псковская	0,16
Смоленск	236	Смоленская	0,18
Брянск	214	Брянская	0,22

При проектировании ВЛ важно также верно оценить величину гололедных и гололедно-ветровых нагрузок. В результате образования гололедно-изморозевых отложений создаются гололедные нагрузки, которые особенно опасны для стабильного энергоснабжения и эксплуатации ЛЭП, так как эти отложения создают весовую нагрузку на провода.

Таблица 3

Среднее число дней с гололедом для метеостанций Псковской, Смоленской и Брянской областей

Название станции	Месяц									Год
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	
<i>1966—1991 гг.</i>										
Псков		0,46	1,50	3,50	3,12	1,54	0,46	0,15	–	10,73
Великие Луки	–	0,08	1,04	1,75	1,13	0,79	0,13	0,13	–	5,04
Смоленск	–	0,69	3,58	6,42	3,96	2,96	1,50	0,27	–	19,38
Брянск	–	0,42	3,54	8,19	4,85	2,69	1,88	0,35	–	21,92
Трубчевск	–	0,33	0,79	3,79	1,79	1,17	0,46	0,04	–	8,38
<i>1992—2017 гг.</i>										
Псков	–	0,15	1,27	2,42	2,19	0,77	0,27	–	–	7,08
Великие Луки	–		0,47	1,12	1,12	0,47	0,06	–	–	3,24
Смоленск	0,08	0,27	2,62	6,50	4,35	2,62	0,77	0,15	–	17,35
Брянск	–	0,12	2,54	3,77	2,35	1,46	0,58	0,08	–	10,88
Трубчевск	–	0,04	1,32	2,36	0,96	1,00	0,44	0,12	–	6,24

На обледенелый провод дополнительно действует ветровая нагрузка, которая зависит от скорости ветра при гололеде и размеров отложения, при усилении ветра результирующая гололедно-ветровая нагрузка возрастает. Под действием веса гололедных отложений провода скручиваются, вибрируют (начинается «пляска»), что уменьшает их прочность и может приводить к обрыву ВЛ. Основными нормативными документами для учета гололедных и ветровых нагрузок при проектировании приняты ПУЭ-7 (2002) и СП «Нагрузки и воздействия».

Среднее число дней с гололедными отложениями для двух периодов приведено в табл. 3, из которой следует, что в последние годы наблюдается значительное уменьшение числа дней с гололедом для всех выбранных метеостанций, особенно в Брянске, где среднегодовое число дней с гололедом уменьшилось более чем в 2 раза. Нормативным климатическим показателем гололедной нагрузки служит толщина стенки гололеда, рассчитанная с повторяемостью раз в 5 лет (согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»).

Таблица 4

Максимальная толщина стенки гололеда различной обеспеченности для метеостанций Псковской, Смоленской и Брянской областей

Название станции	Высота, м	Область	Максимальная толщина стенки гололеда (мм)	
			возможная раз в 5 лет	возможная раз в 50 лет
Псков	43	Псковская	5,1	9
Великие Луки	97	Псковская	7,5	14,3
Смоленск	236	Смоленская	6,4	10,0
Брянск	214	Брянская	6,7	12,4
Трубчевск	177	Брянская	5,3	9,8

В таблице 4 представлена расчетная толщина стенки гололеда различной повторяемости. Наблюдаемая тенденция к уменьшению числа дней с гололедными отложениями не означает уменьшение гололедной нагрузки. Напротив, для территорий Псковской, Смоленской и Брянской областей расчетная толщина стенки гололеда увеличилась в сравнении с данными, приведенными в СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Номер гололедного района на рассматриваемых территориях увеличился.

Воздушные линии электропередач чаще других элементов энергосистемы подвергаются влиянию гроз. Для расчета грозозащитных мероприятий необходимо знать параметры, которые характеризуют грозовую деятельность. В таблице 5 приведено среднее число дней в году с грозой и средняя годовая продолжительность гроз. Эти параметры определяют интенсивность грозовой деятельности.

Таблица 5

**Климатические характеристики гроз для метеостанций
Псковской, Смоленской и Брянской областей**

Название станции	Высота, м	Область	Среднее число дней в году	Средняя годовая продолжительность, часы
Псков	43	Псковская	19,71	54,63
Великие Луки	97	Псковская	18,1	41,53
Смоленск	236	Смоленская	22,35	50,27
Рославль	219	Смоленская	23,57	63,23
Брянск	214	Брянская	24,78	45,14
Трубчевск	177	Брянская	24,02	58,86

Таким образом, работа воздушных линий электропередачи во многом зависят от климатических условий. Ветровые и гололедные нагрузки, интенсивность грозовой деятельности являются основными факторами при выборе материалов и типа конструкции.

Заключение

Изменения климата в последние десятилетия определили необходимость учета климатических факторов при планировании, организации производства и размещении энергетических объектов, а также выработки адаптационных мер для минимизации ущерба от неблагоприятных погодных условий и изменений климата.

Высокая уязвимость энергетической инфраструктуры к изменениям окружающей среды обусловлена, главным образом, ее длительным сроком службы, особенно в случаях, когда на этапе проектирования не учитывались воздействия, связанные с возможными климатическими изменениями. Долгосрочная инфраструктура, такая как атомные и тепловые электростанции, в большинстве случаев сложнее адаптируется к изменениям климата, тогда как объекты с более коротким сроком службы (например, ЛЭП) могут быть заменены с меньшими затратами в связи с изменившимися условиями внешней среды. Учет нормативных климатических показателей обеспечивает надежность и долговечность функционирования энергетических объектов.

Работа выполнена в рамках Программы Союзного государства «Развитие системы гидрометеорологической безопасности Союзного государства на 2017—2021 годы» Мероприятие 3 «Развитие системы климатического обслуживания населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Правила устройства электроустановок. Издание 7 (2002). — М. 330 с.

Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики (2008) / Под ред. Н. В. Кобышевой. — СПб. 336 с.

СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (2011). — М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации.

СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (2016). — М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации.

Rademaekers K., van der Laan J., Boeve S., Wietze L. (2010). Investment needs for future adaptation measures in EU nuclear power plants and other electricity generation technologies due to effects of climate change. Final Report, Commission of the European Communities. — Rotterdam. 85 p.