

УДК 620.179.17

ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЪЕКТЫ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСОВ, АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В.В. Гринев

ЗАО «Белспецэнерго», Минск, Республика Беларусь

e-mail: vgvfima@gmail.com

Представлены результаты расчетов усилий и перемещений мачты стального молниеотвода высотой $H=50$ м от ветровой нагрузки и веса сооружения с использованием инженерной методики и МКЭ (программный комплекс «SCAD»). Расчеты усилий выполнены, по нормам, действующим на момент проектирования и по нормам действующих на момент экспертизы мачты. Сопоставительный анализ полученных результатов показал, что расчетные изгибающие моменты и перемещения, вычисленные по ранее действующим нормам значительно ниже действующих на сегодняшний день. Предложены рекомендации по позволяющие приблизить результаты расчета к фактическому состоянию конструкций подверженных ветровому воздействию.

Ключевые слова: молниеотвод, мачта, расчетная схема, ветровые нагрузки, деформации ствола, расчетные усилия.

WIND IMPACTS ON FUEL AND ENERGY AND INDUSTRIAL COMPLEX FACILITIES, CURRENT PROBLEMS AND WAYS TO SOLVE THEM

V. Griniou

Closed joint stock company "Belspecenergo" Minsk, Republic of Belarus

e-mail: vgvfima@gmail.com

The paper presents the results of the calculations of the forces and movements of a steel lightning rod mast with a height of $H = 50$ m from the wind load and weight of the structure, using engineering techniques and FEM (SCAD software package). The calculations were carried out according to the norms in force at the time of the designing and according to the norms in force at the time of the examination of the mast. A comparative analysis of the results showed that the calculated bending moments and displacements calculated according to the previously valid norms are significantly lower than those currently in force. Recommendations on how to bring the calculation results closer to the actual condition of structures exposed to wind are proposed.

Keywords: lightning rod, mast, design scheme, wind loads, trunk deformations, design forces.

Возникновение колебаний высотных сооружений при ветровом воздействии (ветровой резонанс) известен из литературных источников так и из практики обследований указанных объектов [11]. Резонанс сооружения может за короткий срок вывести последнее из нормального режима эксплуатации и привести к аварии.

Как правило высотные сооружения топливно- энергетического и промышленного комплексов находятся в стратегических местах и относятся к наивысшему – 3 классу надежности [15, стр. 42].

В разное время проводились экспериментальные испытания и расчеты [12; 13] дымовых труб, башен, в том числе на ветровые воздействия, однако, систематизация результатов не выполнялась.

Развитие современных технологий позволяет проводить более детальный анализ поведения конструкций на ветровые воздействия, подобным примером может служить комплексный мониторинг мостов в Республике Беларусь (РБ) [14].

Набор для мониторинга минимален и как правило включает в себя следующие приборы: датчики угла наклона (инклинометры); датчики измерения линейной деформации (тензометры); датчики вибрации (акселерометры); датчики ветровой и температурной нагрузки (анемометры).

Мониторинг производится дистанционно на протяжении не менее одного года все данные аккумулируются и обрабатываются в центре дистанционно.

Мониторинг высотных сооружений, в том числе топливно-энергетического и промышленного комплексов позволяет определить основные динамические характеристики (период собственных колебаний, логарифмический декремент колебаний и пр.) от ветровых воздействий и конструктивных особенностях сооружения.

Подобные работы уже велись и ведутся в РБ такими специалистами как В.Л. Венгринович, Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович, В.Г. Пастушков и др., мониторингу подвергались здания: «Славянский квартал», «Галерея», «Реченька», «Футурис» в городе Минске.

К сожалению, отсутствует единый центр, который позволил бы унифицировать методику мониторинга ветрового воздействия, обработать данные с разных объектов и разработать национальные рекомендации по расчету ветровых воздействий на высотные сооружения.

Краткая история нормативных документов по определению ветровой нагрузки приведена ниже:

- введен в действие СНиП 2.01.07-85 „Нагрузки и воздействия" с 1 января 1987 г [3];
- с 2009 на территории РБ действует технический кодекс установившейся практики ТКП EN 1991-1-4-2009 идентичный европейскому стандарту EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1 [2];
- с 2019 года введены строительные нормы СН 2.01.05-2019 разработаны на основе того же европейского стандарта EN 1991-1-4 [1].

За 10 лет использования ТКП [2], существующие опечатки в формулах (4.5, 4.8, 4.9, 5.3, 5.7, 6.2, 6.3 и т.д.) не были исправлены и перешли в новый документ СП [1], что свидетельствует о малом использовании этих документов, либо о некачественном проектировании. Возможно, это связано с тем, что параллельно действовал старый СНиП [3] который был официально отменен только 16 ноября 2020 г. и проектировщики выполняли расчеты по нормам от 1987 года. Таким примером может служить расчет несущего каркаса и конструкций фундаментов высотной части объекта «Административно -деловой, торгово-развлекательный центр с подземной автостоянкой на пересечении МКАД-пр. Независимости в г. Минске 2018 г (Футурис) (выполненный двумя ведущими организациями страны: ОАО Институт «Минскгражданпроект» и РУП «Институт Белниис»).

Необходимо отметить, что часть высотных сооружений: решетчатые башни, мачты с оттяжками и дымовые трубы с оттяжками рассчитываются по двум нормативным документам [1] и [8] (Приложение Б), что создает определенные трудности.

1. Основная часть

1.1 Описание расчетных методик. Основной особенностью расчета высотных сооружений является корректный учет ветровой нагрузки и приложением ее к поверхностям сооружения.

Широко применяемые в настоящее время для расчета строительных конструкций методы, основанные на МКЭ, и инженерные расчеты нуждаются в сравнении с экспериментальными данными для качественной верификации.

Можно выделить основные методы, применяемые для расчета высотных сооружений в РБ.

1. Инженерный (ручной) расчет, основанный на нормативных документах и рекомендациях [3; 5; 6; 9; 17], где ветровая нагрузка определяется как сумма статической и динамической составляющих. Статическая составляющая, соответствующая скоростному напору, учитывается во всех случаях. Динамическая составляющая, вызываемая пульсациями скоростного напора, учитывается при выполнении определенных критериев. После сбора нагрузки выполняется расчет по определению усилий в элементах сооружения методами строительной механики, так для труб, мачт соответствует расчетная схема в виде вертикального консольного стержня.

2. Второй метод аналогичен первому с отличием тем, что собранную вручную ветровую нагрузку прикладывают к расчетной схеме, созданной в расчетных программах реализующих МКЭ (SCAD, Лира и пр.). Этот метод позволяет ускорить процесс расчета из-за возможности автоматического определения характеристик сечений, выбора материала конструкций и получения внутренних усилий.

3. Третий метод аналогичен второму с отличием тем, что динамическую составляющую рассчитывает программа, а проектировщику необходимо рассчитать только статическую. Это реализовано в программах (SCAD, Лира и пр.) рисунок 1.

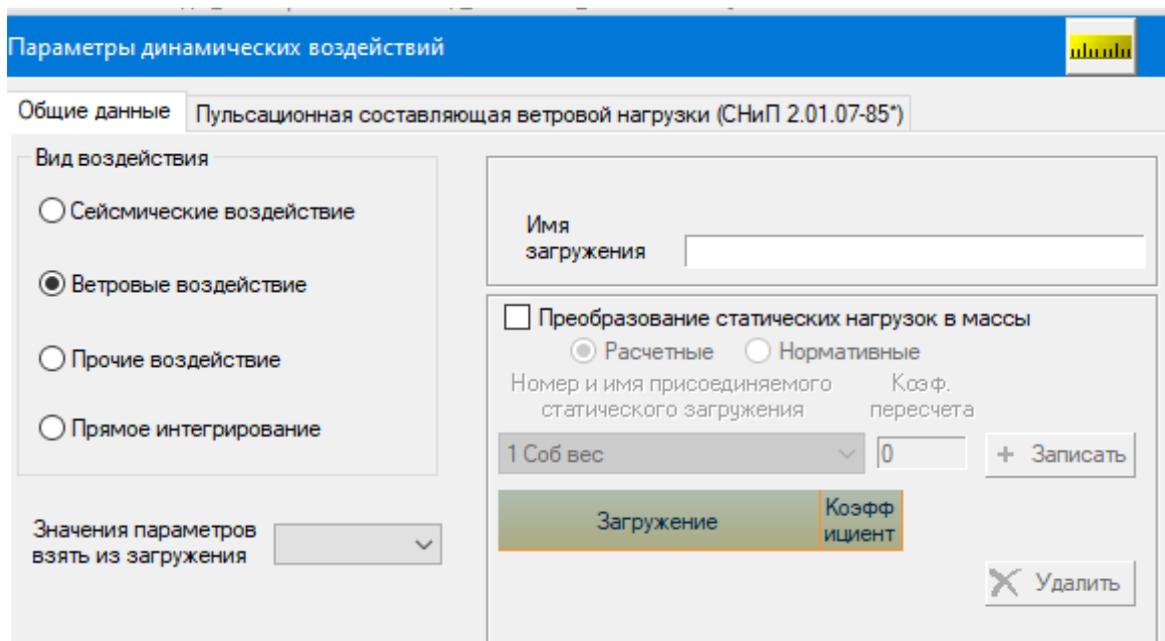


Рисунок 1. – Окно для ветрового расчета в программном комплексе SCAD

4. Четвертый метод отличается от приведенных выше тем, что ветровая нагрузки не делится на составляющие, сбор нагрузки выполняется согласно документам и рекомендациям

[1; 2; 7; 10; 16; 18]. После определения нагрузок на элементы сооружения возможен ручной расчет как в первом методе, либо перенос нагрузок на расчетную схему как во втором методе.

5. Пятый метод – это использование высокопроизводительных программ типа ANSYS Fluent, Autodesk Robot Structural Analysis Professional и пр. в которых есть возможность смоделировать рассчитываемую модель сооружения и окружающую застройку. Задать граничные условия адекватно натурным условиям в соответствии с выбранным ветровым районом и типом местности.

Приведенные выше методики расчета, за исключением пятой, не позволяют выполнить расчет сооружений выше 200 м и качественно учесть влияния повышения турбулентности из-за особенности топографии местности.

В данной статье проанализируем первые четыре метода, пятый в связи с редким использованием среди проектных организацией и малым наличием специалистов, работающих с указанными программными комплексами, рассмотрим в следующих публикациях.

Литературный обзор отдельных публикаций свидетельствует о том, что результаты расчетов ветровых усилий по нормативным документам [1], выше аналогичных расчетов по нормам [3]. Так в работе [4] разница в результатах расчета обычного здания на ветровое воздействие составила по двум методикам 80%, в работе [19] по методике евро норм в 1,27-1,42 раза больше. В источнике [18] (п. 4.1.1.2.3) нормативные значения ветровой нагрузки в соответствии с методикой EN 1991-1-4, в 1,38 раза превышают значения, вычисленные по ранее действующим нормам [3].

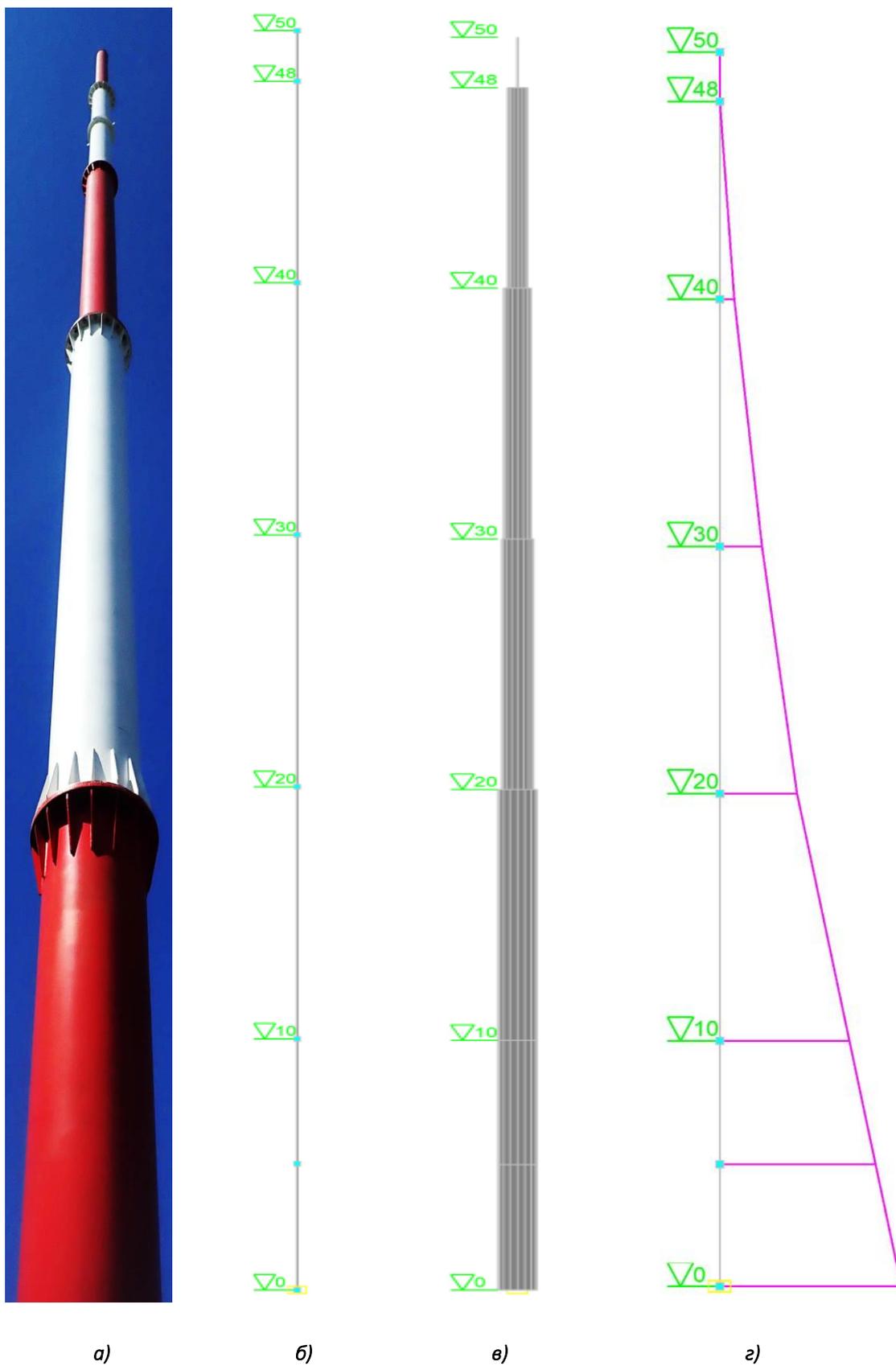
1.2 Расчетно-экспериментальная часть. Цель данного раздела определить и проанализировать усилия от ветровых воздействий на молниеотвод высотой 50 м. Так как мачта молниеотвода проектировалась по нормам до 2020 года, а расчет проводился 2023 году принято решение о выполнении расчета по двум нормам [1; 3]. Работа была вызвана в связи значительными колебаниями указанного сооружения.

Обследуемое сооружение расположено в РБ в промышленной зоне. Температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 - -22°C . Средняя максимальная температура наиболее теплого месяца - 25°C . Максимальная скорость ветра по румбам за январь - 4,9 м/с. Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль - 3,4 м/с.

Район застройки относится к снеговому району 1в с нормативным значением веса снежного покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли равным 1,35 кПа, по ветровым нагрузкам с типом местности III и значением базовой скорости ветра $V_{b,0}=21\text{ м/с}$.

Расчетная модель конструкции стойки принята в соответствии предоставленными результатами обследования, согласно которому металлический ствол не поврежден и его размеры соответствует проекту.

В качестве расчетной схемы ствола мачты принят упруго защемленный в основании стержень кольцевого сечения ($h=48\text{ м}$), состоящий из отдельных секций. Стержень деформируется в соответствии с направлением ветрового потока (неблагоприятное расположения ветра в направлении крена). Ствол молниеотвода представляет собой конструкцию высотой 48 м из труб разных диаметров (от диаметра 1020 мм до диаметра 530 мм), соединяемых между собой с помощью высокопрочных болтов. На отметке +48.0 закреплен молниеотвод из трубы диаметром 32 мм длиной 2 м, материал ствола – сталь класса С245.



а) фото мачты; б) расчётная схема; в) визуализация мачты; г) эпюра моментов

Рисунок 2. –Расчетная схема, ее визуализация и результаты

В таблице приведены результаты по трем методикам №2, №3, №4 см. раздел 1.1 (результаты учета гололеда в данной статье не приводятся).

Таблица 1. – Анализ воздействия ветровой нагрузки на мачту различными методами

№	Методика расчета/ Контролируемый фактор	Методика №2 *	Методика №3	Методика №4
1	M, отн. 0.000, вдоль ветра, кНм	389,38	328,30	1612,3
2	M, отн. 0.000, поперек ветра, кНм	486,72	410,37	1612,3
3	N, отн. 0.000, продольное усилие, кН	145,86	146,23	146,23
4	Макс. напряжение на отн. 0.000, МПа / Предельное значение	50,1/235,0	47,7/235,0	176,4/235,0
5	Отклонение вершины (от ветр. воз- дейст.) мм / Предельное значение	190/960	253/960	690,9/960
*- с учетом начального крена -198 мм				

Выполненные численные исследования показали довольно существенное отличие результатов расчета ствола мачты по методикам 2, 3 и методикой 4 отличающихся по сбору ветровой нагрузки.

Результаты расчета по методике №2 (ручной сбор пульсационной составляющей) показали, что: максимальный изгибающий момент в уровне заземления мачты от действия ветра составил $M_{max}=389,38$ кНм, а горизонтальные смещения верха трубы $y_{max}=0,19$ м.

Результаты расчета по методике №3 (автоматический сбор пульсационной составляющей в программе SCAD) показали, что: максимальный изгибающий момент в уровне заземления мачты от действия ветра составил $M_{max}=328,30$ кНм, а горизонтальные смещения верха трубы $y_{max}=0,253$ м.

Результаты расчета по методике № 4 (ветровая нагрузка по [1]) показали, что: максимальный изгибающий момент в уровне заземления мачты от действия ветра составил $M_{max}=1612,3$ кНм, а горизонтальные смещения верха трубы $y_{max}=690,9$ м.

Заключение. На основании вышесказанного можем сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Расчет показал существенную разницу результатов (более чем в 4 раза) при расчете мачты разными методами сбора ветровых усилий.

2. Действующие на момент написания статьи нормативный документ [1] требует корректировки, в соответствии с первоисточником.

3. Необходимы разъяснения от ТКС 12 РУП «Стройтехнорм» по расчету ветровых нагрузок – какими нормами руководствоваться при обследовании сооружения если оно запроектировано до ввода норм [1].

4. Вынести предложения соответствующим министерствам и специализированным организациям по внедрению мониторинга высотных промышленных сооружений на воздействие ветра. Результатом которого должна быть разработка национальных рекомендаций по сбору ветровых воздействий с фактическими примерами на подобие [6; 17].

5. Внедрять в учебный процесс для студентов ПГС и в практику проектирования программные комплексы реализующие нормы [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. СН 2.01.05-2019. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия. Минск, 2020 г.

2. ТКП EN 1991-1-4-2009 Еврокод 1. Воздействия на конструкции Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия.
3. СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия/ Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с.
4. Сравнительный анализ расчета ветровой нагрузки по СНиП 2.01.07–85* и ТКП EN 1991-1-4–2009 для одноэтажного производственного здания. Супранович А.А., Рябов А.Г. Минск, БНТУ.
5. Дымовые трубы. А.М. Ельшин, М.Н. Ижорин, В.С. Жолудов, Е.Г. Овчаренко; Под редакцией С.В. Сатянова. — М.: Стройиздат, 2001. — 296 с.; ил.
6. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М., 1978. – 224 с.
7. ТКП 641-2019 (33240). Линии электропередачи воздушные. Ветровые воздействия, гололедные нагрузки и ветровые воздействия при гололеде. Министерство энергетики Республики Беларусь. 2020.
8. ТКП EN 1993-3-1-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 3-1. Башни, мачты и дымовые трубы. Башни и мачты.
9. Электронный ресурс <https://rflira.ru/kb/117/722/>. Особенности расчета металлических решетчатых башен на ветровую нагрузку.
10. «Ветровая нагрузка по Еврокоду. Общие положения». <http://eurocodesguide.blogspot.com/2016/>.
11. Стандарт ГПО «БЕЛЭНЕРГО» «Рекомендации по повышению надежности дымовых труб ТЭС» Recommendations for improving the reliability of thermal power plant chimneys СТП 34.21.671. <https://energodoc.by/document/view?id=4154>.
12. Сопоставительный анализ результатов расчетов ствола дымовой трубы Н=250 м на действие ветровой нагрузки. В. И. Корсун, Т. Н. Виноградова, Ю. Ю. Калмыков, А. С. Волков. Донбасская национальная академия строительства и архитектуры ул. Державина 2, Макеевка, Украина.
13. Экспериментальное исследование динамических характеристик высотного сооружения. Н.П. Никитин. Труды ЦНИИПСК им. Мельникова (к 125-летию института).
14. Информационные технологии в строительстве. Минченя В.Т., Фасимов Р.М., Тромпель Д.А., Семенов А.В.
15. ТКП EN 1993-3-2-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 3-2. Башни, мачты и дымовые трубы. Дымовые трубы.
16. P. A. Garcia. A fully worked example of Eurocode 1 (EN 1991-1-4) wind load calculations. <https://skyciv.com/docs/tech-notes/loading/en-1991-1-4-wind-load-calculation-example/>.
17. Указания по расчету железобетонных дымовых труб. ВСН286-90. Москва 1990.
18. Расчет железобетонных конструкций о Еврокоду EN 1992: в 2 ч.: учебно-методическое пособие / С.К. Яковлев, Я.И. Мысляева: М-во образования и науки рос. федерации. Моск. гос. строит. ун-т. М.: МГСУ, 2015. Ч. 1: Изгибаемые и сжатые железобетонные элементы без предварительного напряжения. Определение снеговых, ветровых и крановых нагрузок. Сочетание воздействий. М.: МГСУ, 2015. – 204 с.
19. Кришан А.Л. Кришан М.А. Определение пульсационной составляющей ветровой нагрузки по российским и европейским нормам. Актуальные проблемы применение Еврокодов и национальных стандартов в строительстве на территории РФ и стран ЕС: сб. тр. Междунар. науч. конф. М.: МГСУ, 2012.