

УДК 624.072.2.014

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-40-61](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-40-61)

EDN: VWUPTA

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК НА ПОКРЫТИИ БОЛЬШОЙ СПОРТИВНОЙ АРЕНЫ «ЛУЖНИКИ»

И.В. ЛЕБЕДЕВА<sup>1,✉</sup>, канд. техн. наук

М.И. ФАРФЕЛЬ<sup>1,3</sup>, канд. техн. наук

Д.Ю. КОНЯШИН<sup>1</sup>

М.М. БЕРЕЗИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко  
АО «НИЦ Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

<sup>2</sup>Новосибирский отдел аэродинамики сооружений, Научно-исследовательская и проектно-строительная фирма  
«УНИКОН», ул. Притомская набережная, д. 13, оф. 21, Кемерово, 650000, Российская Федерация

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»  
Минобрнауки России (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

## Аннотация

**Введение.** На основе полученных данных мониторинга и измерений веса снегового покрова установлены закономерности формирования снегоотложений на покрытии БСА «Лужники» и их перераспределения в зимний период. В статье проанализированы экспериментально полученные данные измерений за период более 20 лет.

**Цель.** Исследование предназначено для установления закономерностей формирования снегоотложений и их распределения на покрытии БСА «Лужники» и определения численных значений коэффициента формы  $\mu$ , характеризующего переход от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытии.

**Материалы и методы.** Выполнены измерения веса и плотности снегоотложений на покрытии БСА «Лужники» с 1998 по 2019 год. Полученные результаты сопоставлены с параллельными измерениями веса снегового покрова (далее – ВСП) на земле в Лужниках. Также проведен анализ веса снегового покрова на основе гидрометеорологических данных декадных снегосъемок в Москве, выполненных Метеорологической обсерваторией имени В.А. Михельсона в соответствии с датами проведения натурных измерений, а также статистический анализ данных о максимальных ежегодных значениях ВСП в Москве. Построены графики повторяемости направлений ветра за месяц, предшествующий датам наблюдений.

**Результаты.** Получены максимальные значения коэффициентов формы  $\mu$  для каждого участка покрытия. Выявлены участки повышенных снегоотложений на покрытии в различные периоды процесса снегонакопления и зависимость их образования от скоростей и направлений ветра в зимний период. Построены графики распределения снеговой нагрузки по покрытию по годам наблюдений. Установлено, что значения снеговых нагрузок на покрытии БСА за период наблюдений в целом не превысили заданных проектом значений, за исключением локальных зон возле внутреннего контура в период монтажа козырька.

**Выводы.** Показано, что процесс формирования, накопления и перераспределения снегоотложений на покрытии является весьма сложным и неравномерным и меняется от зимы к зиме. При назначении расчетных схем снеговых нагрузок для проведения расчетов несущих конструкций уникальных сооружений необходимо учитывать наиболее неблагоприятные направления ветрового потока, при которых формируется неравномерная картина снегоотложений, а также физические свойства покрытия и данные натурных наблюдений.

**Ключевые слова:** вес снежного покрова, покрытие, снеговая нагрузка, мониторинг, анализ, коэффициент формы  $\mu$

**Для цитирования:** Лебедева И.В., Фарфель М.И., Коняшин Д.Ю., Березин М.М. Экспериментальное исследование распределения снеговых нагрузок на покрытии Большой спортивной арены «Лужники». Вестник НИЦ «Строительство». 2022;35(4):40–61. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-40-61](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-40-61)

#### **Вклад авторов**

Каждый автор внес равноценный вклад в подготовку статьи.

#### **Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 24.10.2022

Поступила после рецензирования 16.11.2022

Принята к публикации 22.11.2022

## **EXPERIMENTAL STUDY OF SNOW LOAD DISTRIBUTION ON A SHELL OF THE GRAND SPORTS ARENA OF LUZHNIKI OLYMPIC COMPLEX**

I.V. LEBEDEVA<sup>1,✉</sup>, Cand. Sci. (Engineering)

M.I. FARFEL<sup>1,3</sup>, Cand. Sci. (Engineering)

D.Yu. KONYASHIN<sup>1</sup>

M.M. BEREZIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institut'skaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>2</sup>Novosibirsk Department of Aerodynamics of Buildings, Research and Development and Construction Company "UNIKON," Pritomskaya embankment str., 13, off. 21, Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>3</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

### **Abstract**

**Introduction.** The mechanism of the formation of snow deposits on the shell of the Luzhniki GSA and their redistribution in winter were established on the basis of the data obtained during the monitoring of the snow load for over 20 years.

**Aim.** In this article, the mechanism of the formation of snow deposits and their distribution on the shell of the Luzhniki GSA were determined, along with the numerical values of the form factor  $\mu$  characterizing the transition from the ground snow load to the snow load on the shell.

**Materials and methods.** The measurements of the load and density of snow deposits on the shell of the Luzhniki GSA were carried out from 1998 to 2019. The obtained results were compared with the parallel measurements of ground snow load (GSL) in Luzhniki. In addition, the snow load, as well as statistical data analysis on the maximum annual values of the GSL, were analyzed using the hydrometeorological data of decadic snow surveys in Moscow, performed by the V.A. Mikhelson Meteorological Observatory following the dates of field measurements. The graphs of the repeatability of wind directions for the month preceding the observation dates were plotted.

**Results.** The maximum values of the form factor  $\mu$  for each section of the shell were obtained. The areas characterized by increased snow deposition on the shell during various periods of snow accumulation and

the dependence of their formation on wind speeds and directions in winter were revealed. Graphs depicting the distribution of snow load on the surface by observation years were plotted. It was established that the values of snow loads on the GSA shell during the observation period generally lay within the design values, except for local zones near the internal contour during the installation of the canopy.

**Conclusion.** It was shown that the formation, accumulation, and redistribution of snow deposits on the shell comprise a complex and uneven process, varying from winter to winter. When selecting the analytical models of snow loads for calculating unique load-bearing structures, it is necessary to account for the most unfavorable wind flow directions, at which an uneven snow deposition pattern occurs, as well as the physical properties of the shell and field observations.

**Keywords:** shell, snow load, monitoring, analysis, form factor  $\mu$

**For citation:** Lebedeva I.V., Farfel M.I., Konyashin D.Yu., Berezin M.M. Experimental study of snow load distribution on a shell of the Grand Sports Arena of Luzhniki Olympic Complex. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;35(4):40–61. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-40-61](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-40-61)

#### **Author contribution statements**

All authors have contributed equally to the work.

#### **Funding**

No funding support was obtained for the research.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 24.10.2022*

*Revised 16.11.2022*

*Accepted 22.11.2022*

## **Введение**

Уникальное покрытие Большой спортивной арены (БСА) олимпийского комплекса «Лужники» в Москве имеет самый большой в мире безпорный пролет, равный 310 м, для покрытия в форме купола, выполненного из стальных конструкций. Покрытие состоит из наружного опорного и внутреннего контуров, криволинейных радиальных балок и кольцевых ферм. Между радиальными балками смонтирована кровля из поликарбоната, имеющего небольшой коэффициент трения. Покрытие было возведено в 1997 году (рис. 1) [5, 8, 10] и реконструировано к чемпионату мира по футболу 2018 г., проведенного в России, в результате которого площадь покрытия была увеличена (рис. 2) [4, 7].

В настоящей статье предпринята одна из первых в нашей стране попыток произвести анализ и выявить закономерности снегонакопления и снегопереноса по покрытию уникального сооружения – Большой спортивной арены (БСА) «Лужники», расположенной в Москве, на основе результатов проведения многолетних натурных наблюдений и прямого измерения веса снегового покрова на покрытии в зимний и весенний периоды. Измерения проводились на эксплуатируемом покрытии сооружения до проведения его реконструкции с 1998 по 2015 год (рис. 1). После реконструкции добавился внутренний козырек, и мониторинг снеговых нагрузок проводился с 2016 по 2019 год (рис. 2) [4] с использованием весового снегомера в различных частях покрытия с последующим составлением схем распределения снеговой нагрузки по данным проведенных экспериментальных исследований.



**Рис. 1.** Общий вид БСА «Лужники» до проведения реконструкции  
**Fig. 1.** General view of the Luzhniki GSA prior to reconstruction



**Рис. 2.** Общий вид БСА «Лужники» после проведения реконструкции  
**Fig. 2.** General view of the Luzhniki GSA following reconstruction

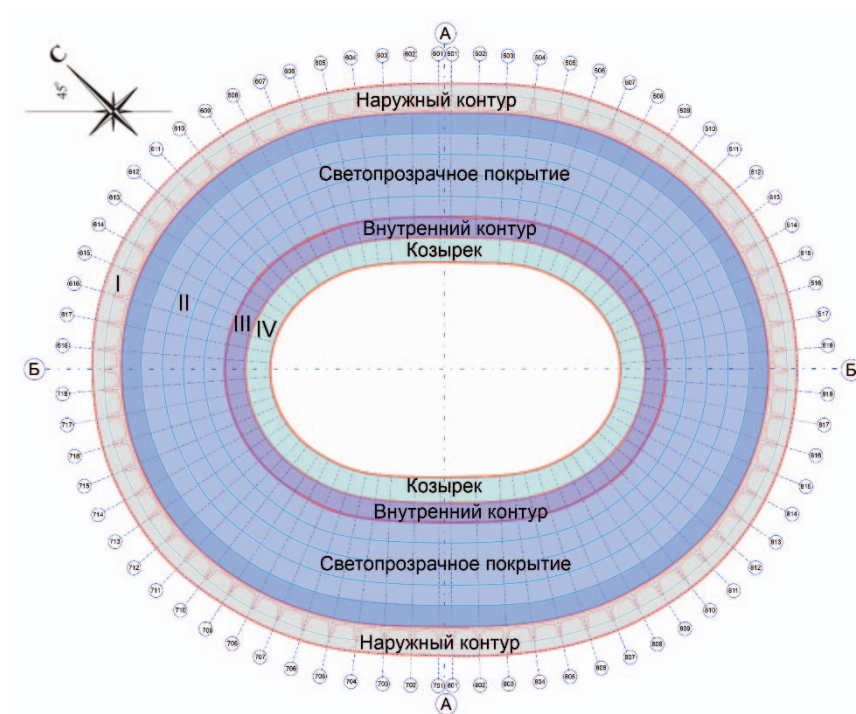
Для оценки и анализа результатов наблюдений и выявления закономерностей формирования снегоотложений на покрытии под действием ветра использовались данные гидрометеорологических наблюдений о запасах воды в снеговом покрове, скоростях и направлениях ветра в зимний период на метеостанциях Росгидромета, соответствующие времени проведения натурных измерений высоты и веса снега на покрытии БСА, а также данные о максимальных запасах воды в снеговом покрове, полученные на основе декадных снего съемок на Метеорологической обсерватории РГАУ МСХА им. В. А. Михельсона.

Выполнено сравнение с результатами модельных аэродинамических испытаний сооружения, проведенных фирмой «УНИКОН», г. Новосибирск, 2014 год.

## Методика проведения натурных измерений на покрытии

Измерение веса снегового покрова выполнялось как на различных участках покрытия БСА, так и на земле, на площадке с неповрежденным снежным покровом вблизи сооружения. Измерения проводились в нескольких точках с помощью весового снегомера, позволяющего непосредственно установить значение веса снежного покрова и его плотность, с последующим осреднением полученных результатов.

Для измерения снеговой нагрузки с 1998 по 2015 год (до проведения реконструкции) покрытие условно разбито на три зоны: I – зона покрытия, примыкающая к наружному контуру; II – зона светопрозрачного покрытия; III – зона верхнего пояса внутреннего контура (рис. 3).



**Рис. 3.** Схема расположения зон снегоотложений на покрытии БСА:

I – наружный контур; II – светопрозрачное покрытие; III – внутренний контур; IV – козырек

**Fig. 3.** Scheme of snow deposition zones on the GSA shell:

I – external contour; II – translucent roof; III – internal contour; IV – canopy

После реконструкции стадиона, которая была осуществлена в 2015 году, к внутреннему контуру добавилась также зона IV – козырек. Характерный разрез сооружения до проведения реконструкции и фрагмент разреза по покрытию после нее показаны на рис. 4 [3, 8] и рис. 5 [4, 7] соответственно.

Экспериментальное определение распределения снеговых нагрузок по покрытию БСА «Лужники» проводилось в зимний период, а также в начале весеннего периода с 1998 по 2019 год. Даты проведения измерений выбирались так, чтобы отразить характерные этапы снегонакопления, период максимальных снегоотложений на различных частях покрытия, а также последующего сползания и таяния снега с уменьшением снеговой нагрузки. Результаты исследований регистрировались в журнале наблюдений и наносились на схему покрытия, представленную на рис. 3.

### Анализ результатов экспериментальных исследований

Максимальная плотность и объем неравномерных снеговых отложений во все годы наблюдались в нижней зоне покрытия I, примыкающей к светопрозрачной части покрытия и образующей с ней перепады высот.

Следует отметить резко выраженную неоднородную структуру снега в зонах его сползания и падения с вышележащих участков покрытия и повышенную плотность снегоотложений (см. рис. 6 а, б), тогда как при снегопереносе по покрытию снеговой покров сохраняет более

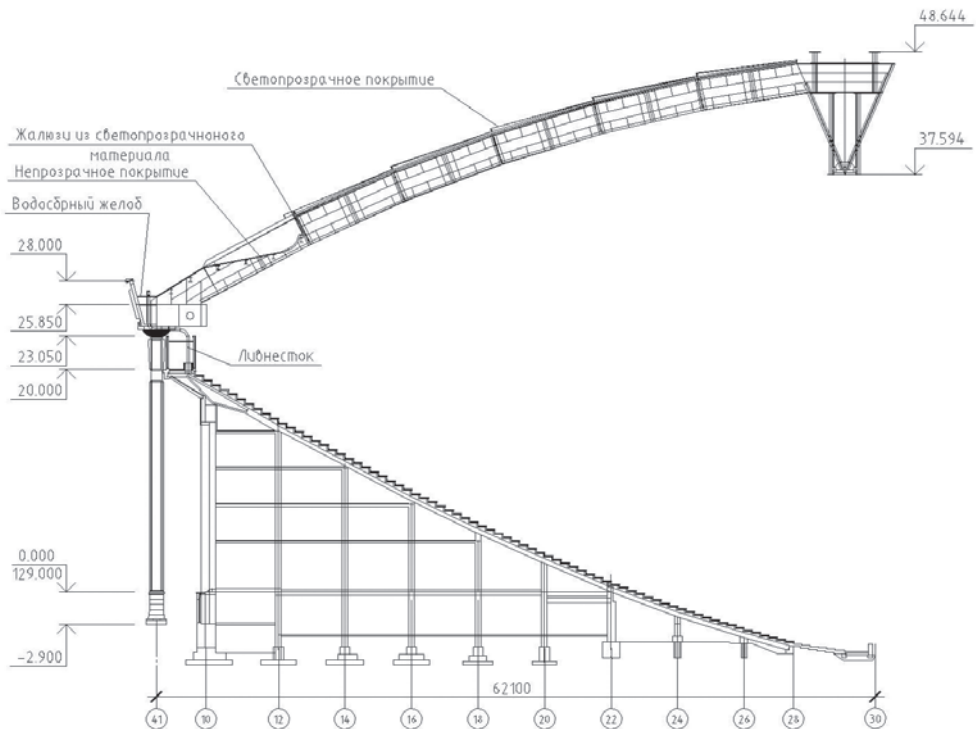
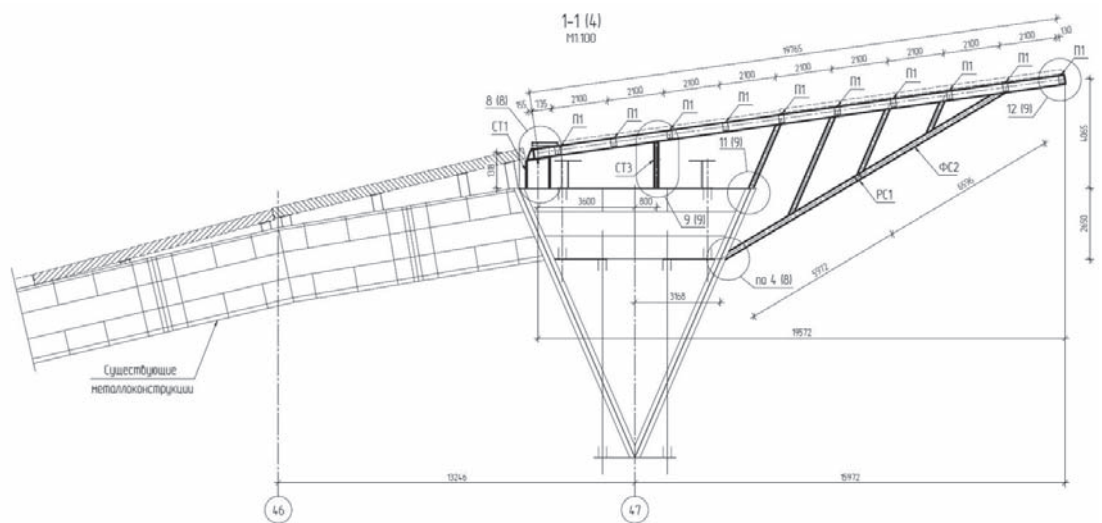


Рис. 4. Характерный разрез сооружения до проведения реконструкции

Fig. 4. Characteristic section of a structure prior to reconstruction



**Рис. 5.** Фрагмент разреза по покрытию после проведения реконструкции  
**Fig. 5.** Fragment of a section over shell following reconstruction



**а – 21.02.2004**



**б – 05.03.2007**

**Рис. 6.** Снегоотложения по наружному контуру покрытия, в зонах перепадов высот  
**Fig. 6.** Snow deposits along external contour of a shell, in areas of height discontinuity

гладкую и однородную структуру, которая может быть слоистой (см. рис. 6 а). Измеренная плотность снега на верхней части покрытия ниже, но, как правило, несколько превышает аналогичную плотность снегового покрова земли.

В весенний период плотность снегоотложений существенно возрастает и может составлять примерно 300–500 кгс/м<sup>3</sup>. При этом снег принимает пористую структуру с включениями льда (рис. 7).

Зимы в Московском регионе характеризуются неустойчивым температурно-влажностным режимом с чередованием морозной погоды и оттепелей, а также переменным направлением ветра. При различных сочетаниях скорости и направления ветра со снегопадами в результате перераспределения снега по покрытию формируется сложная картина неравномерных



26.03.2019

**Рис. 7.** Структура снеготложений в весенний период**Fig. 7.** Structure of snow deposits in spring

снеговых нагрузок, постоянно изменяющаяся не только от зимы к зиме, но и в течение одного зимнего периода.

Следует отметить, что для Москвы характерно преобладание маловетреной погоды со средними скоростями ветра, не превышающими 2 м/с. При таких скоростях ветра снеготеноса практически не происходит, и наблюдается лишь сползание снега с центральной светопрозрачной части покрытия с низким коэффициентом трения снега о поверхность на нижнее опорное кольцо.

Однако в некоторые зимы наблюдаются дни с сильным, порывистым ветром и скоростями, превышающими в среднем 4 м/с, при которых может происходить более интенсивный перенос снега по покрытию. Направление снеготеноса может быть как радиальным (сверху вниз, либо снизу вверх), так и кольцевым (по нижнему опорному кольцу, ограниченному наружным парапетом и перепадом высот с центральной частью покрытия). При этом снег, который выпал ранее, чем за трое суток до возникновения сильных порывов ветра, кристаллизуется и, как правило, уже не переносится ветром.

Значения коэффициента формы  $\mu$  получаются как отношение наблюдаемого значения снеговой нагрузки на покрытие к весу снегового покрова земли.

В табл. 1–4 представлены максимальные значения коэффициентов формы  $\mu$  для каждой зоны покрытия, показанной на рис. 3, вычисленные как отношение снеговой нагрузки на покрытие к значениям веса снегового покрова (ВСП), измеренным:

- на земле с неповрежденным снеговым покровом в Лужниках, вблизи от стадиона, одновременно с измерениями, проведенными на покрытии;
- на Метеорологической обсерватории РГАУ МСХА им. В. А. Михельсона на ближайшую дату декадной снегосъемки;
- к расчетным значениям веса снегового покрова, превышаемым в среднем один раз в 50 лет, установленным в СП [1].

Для удобства представления экспериментальных данных все результаты измерения веса снегового покрова далее в настоящей статье приведены в кгс/м<sup>2</sup> (1 кН/м<sup>2</sup> = 100 кгс/м<sup>2</sup>).

Из приведенных таблиц следует, что на локальном участке покрытия в нижней зоне, прилегающей к наружному контуру, максимальное значение коэффициента формы составило  $\mu = 2,66$  к расчетному значению ВСП, для светопрозрачного покрытия –  $\mu = 0,67$ , для внутреннего контура –  $\mu = 1,53$  к расчетному значению ВСП. На козырьке за период наблюдений существенных снеговых нагрузок не было зарегистрировано. Однако следует отметить, что локальные снеговые нагрузки возле наружного контура могут превышать соответствующие нагрузки на земле в 5–8 раз, а для внутреннего пологого участка в центральной

Таблица 1

### Сравнительные результаты измерений максимальных значений веса снегового покрова и коэффициентов формы $\mu$ для зоны I

Table 1

#### Comparative results of maximum snow load and form factor $\mu$ for zone I

| Дата наблюдений | ВСП на покрытии | ВСП на Земле | мю          | ВСП РГАУ МСХА | мю          | ВСП по СП 20 [1] | мю          |
|-----------------|-----------------|--------------|-------------|---------------|-------------|------------------|-------------|
| 10.02.1998      | 123             |              |             | 92            | 1,34        | 203              | 0,61        |
| 17.03.1998      | 50              |              |             | 92            | 0,54        | 203              | 0,25        |
| 26.02.1999      | 200             | 117          | 1,71        | 143           | 1,40        | 203              | 0,99        |
| 13.02.2001      | 360             | 117          | 3,08        | 108           | 3,33        | 203              | 1,77        |
| 05.03.2003      | 220             | 89           | 2,47        | 77            | 2,86        | 203              | 1,08        |
| 01.03.2004      | 372             | 105          | 3,54        | 110           | 3,38        | 203              | 1,83        |
| 03.03.2006      | 220             | 100          | 2,20        | 96            | 2,29        | 203              | 1,08        |
| 11.03.2009      | 180             | 70           | 2,57        | 65            | 2,77        | 203              | 0,89        |
| 01.03.2011      | 231             | 97           | 2,38        | 115           | 2,01        | 203              | 1,14        |
| 01.03.2012      | 170             | 78           | 2,18        | 92            | 1,85        | 203              | 0,84        |
| 01.03.2013      | 270             | 172          | 1,57        | 130           | 2,08        | 203              | 1,33        |
| 02.02.2016      | 531             | 70           | 7,59        | 64            | 8,30        | 203              | 2,62        |
| 18.02.2016      | 483             |              |             | 68            | 7,10        | 203              | 2,38        |
| 03.03.2016      | 483             | 90           | 5,37        | 71            | 6,80        | 203              | 2,38        |
| 17.03.2016      | 300             |              |             | 80            | 3,75        | 203              | 1,48        |
| 31.01.2017      | 238             | 108          | 2,20        | 94            | 2,53        | 203              | 1,17        |
| 16.02.2017      | 238             | 108          | 2,20        | 86            | 2,77        | 203              | 1,17        |
| 14.02.2018      | 230             | 100          | 2,30        | 112           | 2,05        | 203              | 1,13        |
| 15.03.2018      | 458             | 116          | 3,95        | 135           | 3,39        | 203              | 2,26        |
| 28.01.2019      | 212             | 85           | 2,49        | 110           | 1,93        | 203              | 1,04        |
| 20.02.2019      | 540             | 105          | 5,14        | 95            | 5,68        | 203              | 2,66        |
| <b>Максимум</b> | <b>540</b>      | <b>172</b>   | <b>7,59</b> | <b>143</b>    | <b>8,30</b> |                  | <b>2,66</b> |
| <b>Среднее</b>  | <b>291</b>      | <b>102</b>   | <b>3,11</b> | <b>97</b>     | <b>3,25</b> |                  | <b>1,43</b> |

Таблица 2

**Сравнительные результаты измерений максимальных значений веса снегового покрова и коэффициентов формы  $\mu$  для зоны II**

Table 2

**Comparative results of maximum snow load and form factor  $\mu$  for zone II**

| Дата наблюдений | ВСП на покрытии | ВСП на Земле | мю          | ВСП РГАУ МСХА | мю          | ВСП по СП 20 [1] | мю          |
|-----------------|-----------------|--------------|-------------|---------------|-------------|------------------|-------------|
| 10.02.1998      | 13              |              |             | 92            | 0,14        | 203              | 0,06        |
| 17.03.1998      | 15              |              |             | 92            | 0,16        | 203              | 0,07        |
| 26.02.1999      |                 | 117          |             | 143           |             | 203              |             |
| 13.02.2001      | 30              | 117          | 0,26        | 108           | 0,28        | 203              | 0,15        |
| 05.03.2003      | 9               | 89           | 0,10        | 77            | 0,12        | 203              | 0,04        |
| 01.03.2004      |                 | 105          | 0,00        | 110           |             | 203              |             |
| 03.03.2006      | 30              | 100          | 0,30        | 96            | 0,31        | 203              | 0,15        |
| 11.03.2009      | 20              | 70           | 0,29        | 65            | 0,31        | 203              | 0,10        |
| 01.03.2011      | 90              | 97           | 0,93        | 115           | 0,78        | 203              | 0,44        |
| 01.03.2012      | 55              | 78           | 0,71        | 92            | 0,60        | 203              | 0,27        |
| 01.03.2013      |                 | 172          | 0,00        | 130           | 0,00        | 203              |             |
| 02.02.2016      | 74              | 70           | 1,06        | 64            | 1,16        | 203              | 0,36        |
| 18.02.2016      |                 |              |             | 68            |             | 203              |             |
| 03.03.2016      | 31              | 90           | 0,34        | 71            | 0,44        | 203              | 0,15        |
| 17.03.2016      |                 |              |             | 80            |             | 203              |             |
| 31.01.2017      | 136             | 108          | 1,26        | 94            | 1,45        | 203              | 0,67        |
| 16.02.2017      | 136             | 108          | 1,26        | 86            | 1,58        | 203              | 0,67        |
| 14.02.2018      | 110             | 100          | 1,10        | 112           | 0,98        | 203              | 0,54        |
| 15.03.2018      | 128             | 116          | 1,10        | 135           | 0,95        | 203              | 0,63        |
| 28.01.2019      | 80              | 85           | 0,94        | 110           | 0,73        | 203              | 0,39        |
| 20.02.2019      |                 | 105          |             | 95            |             | 203              |             |
| <b>Максимум</b> | <b>136</b>      | <b>172</b>   | <b>1,26</b> | <b>143</b>    | <b>1,58</b> |                  | <b>0,67</b> |
| <b>Среднее</b>  | <b>64</b>       | <b>102</b>   | <b>0,64</b> | <b>97</b>     | <b>0,62</b> |                  | <b>0,31</b> |

зоне покрытия – в 2–4 раза, что свидетельствует о существенном различии процессов снегонакопления на земле и на покрытиях зданий и сооружений. Этот факт объясняется неравномерным метелевым переносом снега в верхней части покрытия, а также его сносом и сползанием с центральной светопрозрачной части на нижний контур, особенно в зоны перепадов высот, и его следует учитывать при проектировании.

Расчетные значения веса снегового покрова в соответствии с СП [1] принимаются по данным многолетних маршрутных снегосъемок на защищенных от действия ветра участках местности и устанавливаются как превышаемый в среднем один раз в 50 лет ежегодный максимум ВСП.

Для аппроксимации полученных данных используются различные теоретические законы распределения, выбор которых определяется наилучшим соответствием аппроксимирующей функции наблюдаемым значениям случайной величины, которое оценивается с помощью различных критериев согласия.

В нормативных документах различных стран мира, в том числе в стандартах США [11], Канады [12], в международных стандартах ИСО [9], а также в Еврокодах

Таблица 3

**Сравнительные результаты измерений максимальных значений веса снегового покрова  
и коэффициентов формы  $\mu$  для зоны III**

Table 3

**Comparative results of maximum snow load and form factor  $\mu$  for zone III**

| Дата наблюдений | ВСП<br>на покрытии | ВСП<br>на Земле | мю          | ВСП<br>РГАУ МСХА | мю          | ВСП по<br>СП 20 [1] | мю          |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|------------------|-------------|---------------------|-------------|
| 10.02.1998      | 106                |                 |             |                  |             | 203                 |             |
| 17.03.1998      | 50                 |                 |             |                  |             | 203                 |             |
| 26.02.1999      |                    | 117             |             | 143              |             | 203                 |             |
| 13.02.2001      |                    | 117             |             | 108              |             | 203                 |             |
| 05.03.2003      | 60                 | 89              | 0,67        | 77               | 0,78        | 203                 | 0,30        |
| 01.03.2004      | 85                 | 105             | 0,81        | 110              | 0,77        | 203                 | 0,42        |
| 03.03.2006      | 180                | 100             | 1,80        | 96               | 1,88        | 203                 | 0,89        |
| 11.03.2009      | 120                | 70              | 1,71        | 65               | 1,85        | 203                 | 0,59        |
| 01.03.2011      | 215                | 97              | 2,22        | 115              | 1,87        | 203                 | 1,06        |
| 01.03.2012      | 265                | 78              | 3,40        | 92               | 2,88        | 203                 | 1,31        |
| 01.03.2013      | 210                | 172             | 1,22        | 130              | 1,62        | 203                 | 1,03        |
| 02.02.2016      | 211                | 70              | 3,01        | 64               | 3,30        | 203                 | 1,04        |
| 18.02.2016      | 308                |                 |             | 68               | 4,53        | 203                 | 1,52        |
| 03.03.2016      | 310                | 90              | 3,44        | 71               | 4,37        | 203                 | 1,53        |
| 17.03.2016      | 136                |                 |             | 80               | 1,70        | 203                 | 0,67        |
| 31.01.2017      | 136                | 108             | 1,26        | 94               | 1,45        | 203                 | 0,67        |
| 16.02.2017      | 136                | 108             | 1,26        | 86               | 1,58        | 203                 | 0,67        |
| 14.02.2018      | 115                | 100             | 1,15        | 112              | 1,03        | 203                 | 0,57        |
| 15.03.2018      | 204                | 116             | 1,76        | 135              | 1,51        | 203                 | 1,00        |
| 28.01.2019      | 80                 | 85              | 0,94        | 110              | 0,73        | 203                 | 0,39        |
| 20.02.2019      | 130                | 105             | 1,24        | 95               | 1,37        | 203                 | 0,64        |
| <b>Максимум</b> | <b>310</b>         | <b>172</b>      | <b>3,44</b> | <b>143</b>       | <b>4,53</b> |                     | <b>1,53</b> |
| <b>Среднее</b>  | <b>161</b>         | <b>102</b>      | <b>1,73</b> | <b>97</b>        | <b>1,95</b> |                     | <b>0,84</b> |

при нормировании расчетных значений веса снегового покрова наиболее широко применяется распределение экстремальных значений типа I (распределение Гумбеля). При этом принимается превышаемое в среднем один раз в 50 лет значение ежегодных максимумов ВСП (с вероятностью превышения 2 %). Для аппроксимации данных наблюдений допускается использовать также логнормальный закон распределения и распределение Вейбулла (см., например, [11]). Прогнозируемые оценки ВСП заданной обеспеченности, получаемые с применением этих распределений, имеют несущественные различия.

Методика определения расчетных значений веса снегового покрова на территории Российской Федерации приведена в [14, 15]. Как было установлено из проведенных исследований, для большинства метеорологических станций на территории России наилучшее согласие с зарегистрированными данными о ежегодных максимумах ВСП дает их аппроксимация распределением Гумбеля с поправками на длину рядов наблюдений, которое предназначено для описания распределения экстремальных значений климатических параметров нагрузок [12]:

Таблица 4

**Сравнительные результаты измерений максимальных значений веса снегового покрова и коэффициентов формы  $\mu$  для зоны IV (козырек)**

Table 4

**Comparative results of maximum snow load and form factor  $\mu$  for zone IV (canopy)**

| Дата наблюдений | ВСП на покрытии | ВСП на Земле | мю          | ВСП РГАУ МСХА | мю          | ВСП по СП 20 [1] | мю          |
|-----------------|-----------------|--------------|-------------|---------------|-------------|------------------|-------------|
| 02.02.2016      | 531             | 70           | 7,59        | 64            | 8,30        | 203              | 2,62        |
| 18.02.2016      | 483             |              |             | 68            | 7,10        | 203              | 2,38        |
| 03.03.2016      | 483             | 90           | 5,37        | 71            | 6,80        | 203              | 2,38        |
| 17.03.2016      | 300             |              |             | 80            | 3,75        | 203              | 1,48        |
| 31.01.2017      | 238             | 108          | 2,20        | 94            | 2,53        | 203              | 1,17        |
| 16.02.2017      | 238             | 108          | 2,20        | 86            | 2,77        | 203              | 1,17        |
| 14.02.2018      | 69              | 100          | 0,69        | 112           | 0,62        | 203              | 0,34        |
| 15.03.2018      | 77              | 116          | 0,66        | 135           | 0,57        | 203              | 0,38        |
| 28.01.2019      | 30              | 85           | 0,35        | 110           | 0,27        | 203              | 0,15        |
| 20.02.2019      |                 | 105          |             | 95            |             | 203              |             |
| <b>Максимум</b> | <b>77</b>       | <b>116</b>   | <b>0,69</b> | <b>135</b>    | <b>0,62</b> |                  | <b>0,38</b> |
| <b>Среднее</b>  | <b>59</b>       | <b>101,5</b> | <b>0,57</b> | <b>113</b>    | <b>0,49</b> |                  | <b>0,29</b> |

$F(x) = \exp(-\exp^{-y})$ , где:

$$y = \frac{x - a}{b}; \quad b = \frac{\sigma}{\sigma_N}; \quad a = \tilde{x} - \sigma \frac{\bar{y}_N}{\sigma_N}; \quad (1)$$

$\tilde{x}$  – среднее арифметическое из наибольших ежегодных значений веса снегового покрова;

$\sigma$  – среднеквадратическое (стандартное) отклонение;

$\bar{y}_N$  и  $\sigma_N$  – коэффициенты редукции среднего и стандартного отклонений (в функции от количества лет наблюдений).

Для получения расчетных значений ВСП  $S_{g,m}$ , превышаемых в среднем один раз в  $T$  лет, формула (1) преобразуется к виду

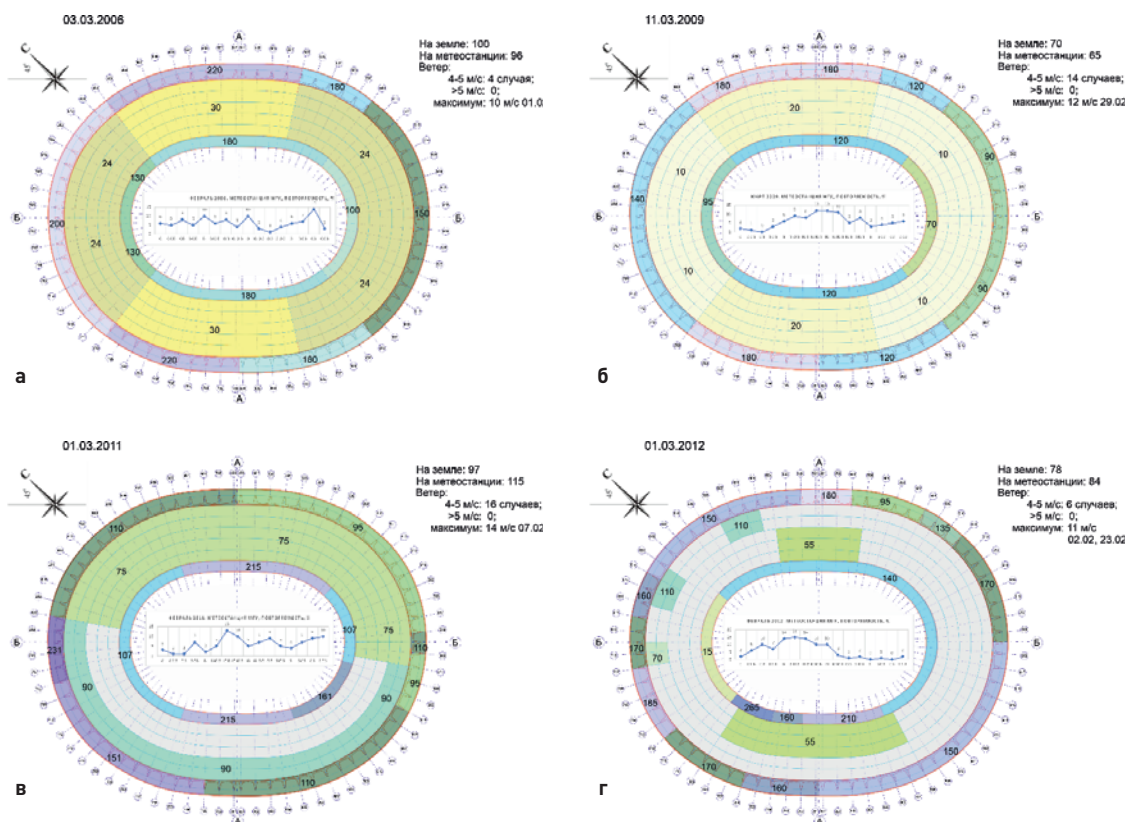
$$S_{g,m} = \tilde{x} - \frac{1}{\sigma_N} \times \sigma [\bar{y}_N + \ln(-\ln m)], \quad (2)$$

где  $m = 1-1/T$ , где  $T$ , лет – средний период повторяемости.

В последние десятилетия методика непосредственного измерения ВСП с помощью весового снегомера широко применяется во многих странах Европы, США и Канаде (см. [10, 11]).

Для уточнения расчетного значения ВСП использован ряд наблюдений на Метеорологической обсерватории РГАУ МСХА им. В.А. Михельсона, расположенной в Москве, за период более 100 лет, до 2019 года включительно. Установленное расчетное значение ВСП соответствует принятому в приложении К СП [1] для Москвы и составляет 2,03 кПа (203 кгс/м<sup>2</sup>).

Некоторые из полученных характерных результатов измерений веса снегового покрова на покрытии приведены на рис. 8–10. До проведения реконструкции БСА все измерения проводились для трех зон покрытия, начиная с 2016 года – для четырех зон, включая внутренний козырек, построенный в 2015 году (см. рис. 4).



**Рис. 8.** Измерения ВСП на покрытии БСА: 2006, 2009, 2011 и 2012 гг.  
**Fig. 8.** GSL on the GSA shell: 2006, 2009, 2011, and 2012

Во внутреннем пространстве на рис. 8–10 показаны соответствующие графики повторяемости направлений ветра за месяц, по румбам, для шестнадцати направлений, в процентах, построенные по данным метеостанции МГУ, ближайшей к месту расположения сооружения.

На диаграммах (рис. 11) показаны средние значения повторяемостей за зимний период, построенные по данным метеостанции МГУ за те месяцы, в которые проводились измерения ВСП на покрытии БСА «Лужники». В СП [2] необходимые данные о повторяемостях направлений ветра по румбам в настоящее время отсутствуют.

Из рис. 10 видно, что преобладающими для места расположения БСА являются ветры юго-западного, южного, западного и юго-восточного направлений. Из рис. 11 видно, что в феврале к ним добавляются также ветры северо-западного направления.

Следует отметить, что в отдельные годы повторяемость направлений ветра в зимний период существенно отличается от приведенных осредненных значений, что существенно влияет на картину неравномерного распределения снега по покрытию (см. рис. 12).

Из рис. 8–12 видно, что преобладающие направления ветра в зимний период меняются от зимы к зиме, как и направления ветра при метелях и снегопадах. Изменчивость скоростей ветра и направлений снеготранспорта способствуют формированию различных картин снеготложений на покрытии БСА в зимний период. К примеру, если в 2012 году в зимний

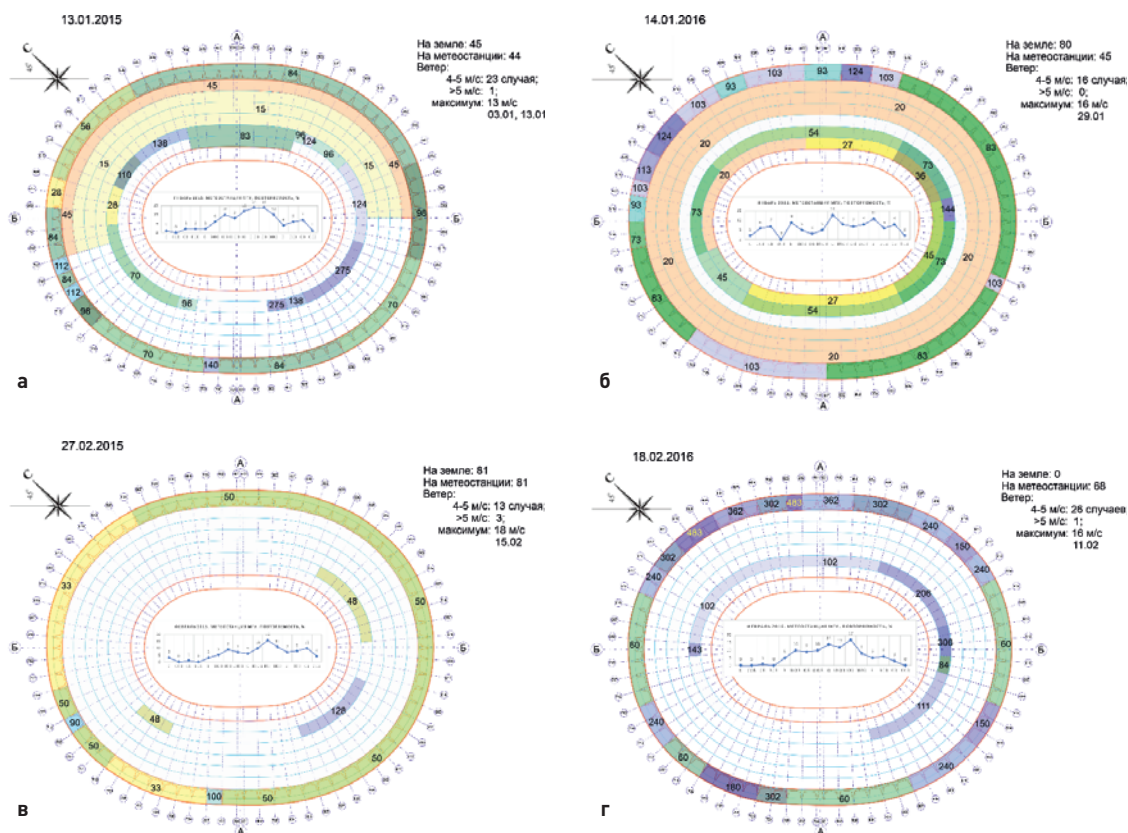


Рис. 9. Измерения ВСП на покрытии БСА: 2015 и 2016 гг.

Fig. 9. GSL on the GSA shell: 2015 and 2016

период преобладали ветры восточных – юго-восточных направлений, то в 2015 году – южных – юго-западных. Соответствующие распределения снеговой нагрузки по покрытию в разные годы также существенно различаются.

Из рис. 8 видно, что в марте 2012 года перенос снега ветром происходил с востока и юго-востока на запад – северо-запад, вдоль верхней части светопрозрачного покрытия и с центральной части в сторону внутреннего кольца. При этом снегоотложения максимальной плотности и интенсивности образовались на внутреннем контуре с юго-западной стороны (локально снеговая нагрузка втрое превысила ВСП земли); меньшей плотности – с северо-восточной и юго-восточной сторон (снеговая нагрузка на внутреннем контуре с наветренной стороны превысила ВСП земли более чем в полтора раза).

Остальная снеговая нагрузка, образовавшаяся на светопрозрачном покрытии, была снесена на наружный контур, что привело к ее возрастанию в этой зоне примерно вдвое по сравнению с весом снегового покрова земли на момент проведения наблюдений.

Из рис. 9 видно, что в январе 2015 года перенос снега ветром по светопрозрачной части покрытия происходил с юго-запада на северо-восток, с накоплением добавочных снегоотложений в верхней центральной части вдоль внутреннего кольца, с подветренной стороны. При этом локально снеговая нагрузка примерно втрое превысила ВСП земли в верхней

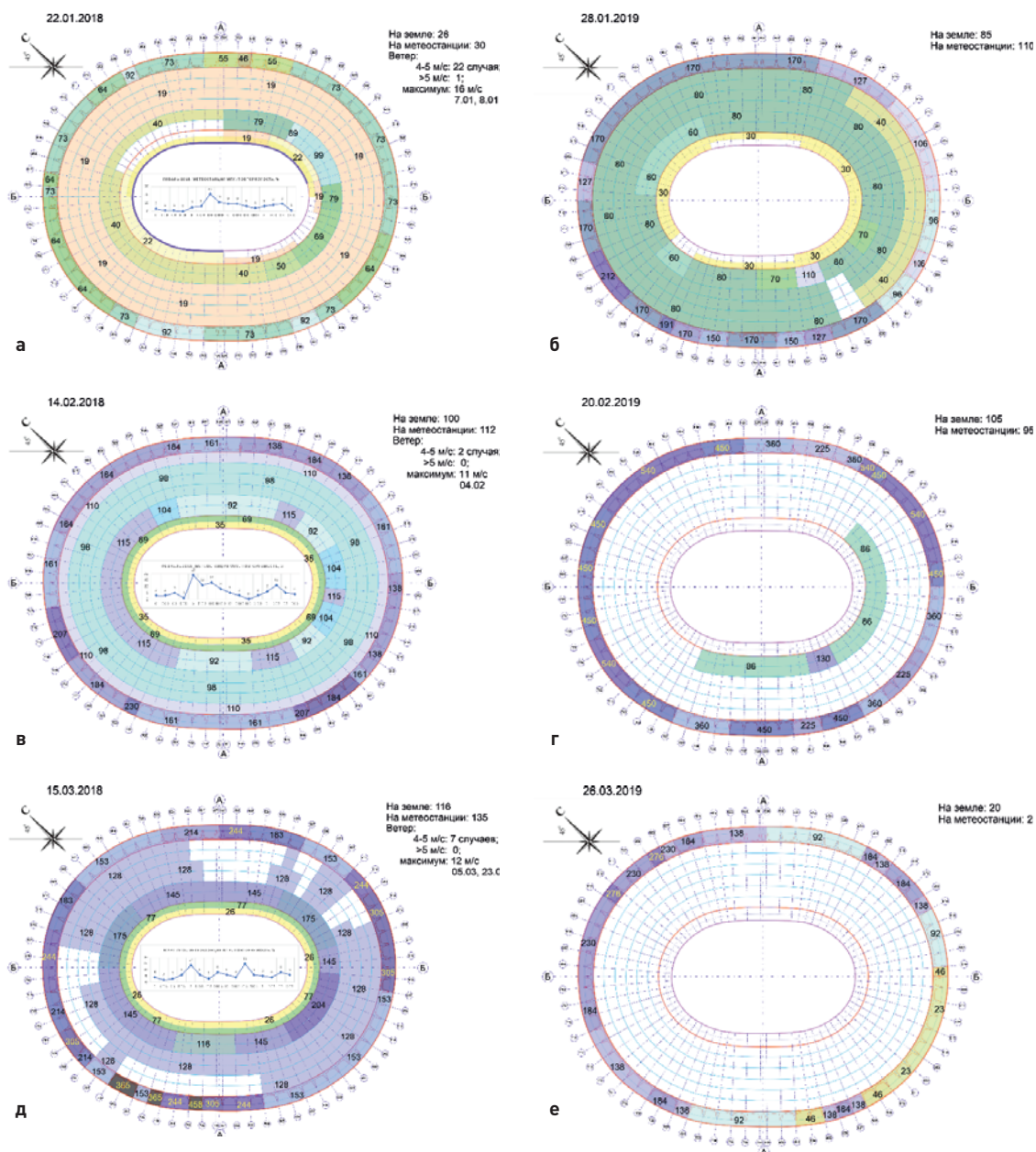
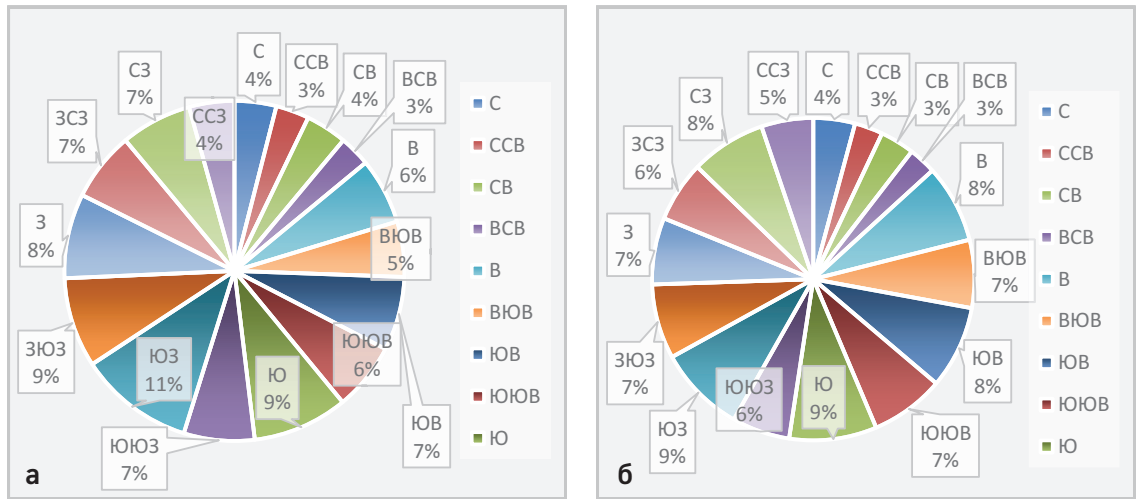


Рис. 10. Измерения ВСП на покрытии БСА: 2018 и 2019 гг.

Рис. 10. GSL on the GSA shell: 2018 and 2019

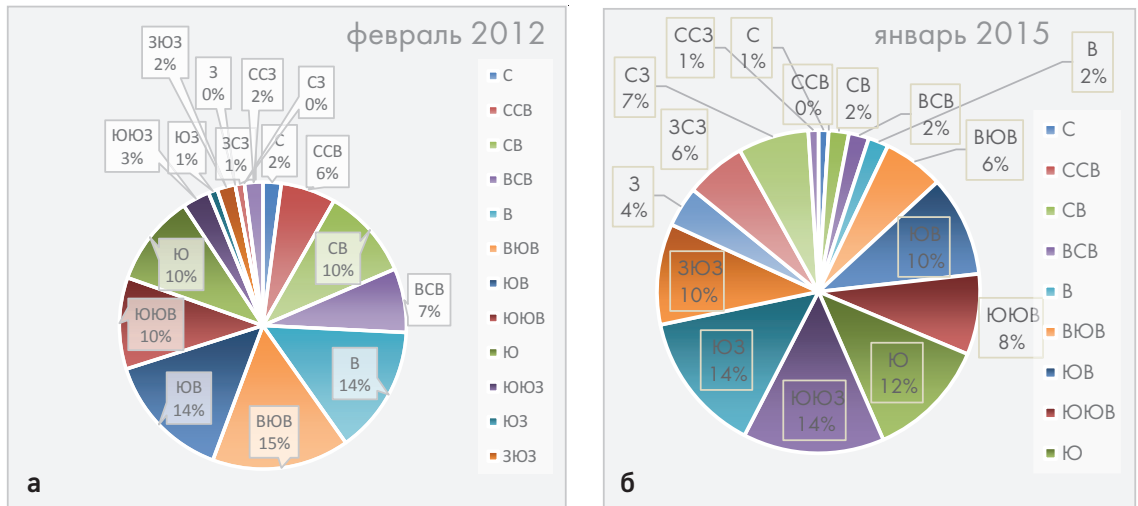
светопрозрачной части покрытия с подветренной стороны и в пять раз на локальном участке верхней светопрозрачной части покрытия с южной наветренной стороны.

На нижнем опорном контуре снеговая нагрузка примерно вдвое превысила ВСП земли и была распределена почти равномерно, с локальными отклонениями.



**Рис. 11.** Повторяемости средних значений скоростей ветра для метеостанции МГУ за 2000–2018 гг.:  
а – за зимний период; б – за февраль

**Fig. 11.** Repeatability of average wind speeds recorded by the MSU weather station in 2000–2018:  
а – in winter period; б – in February

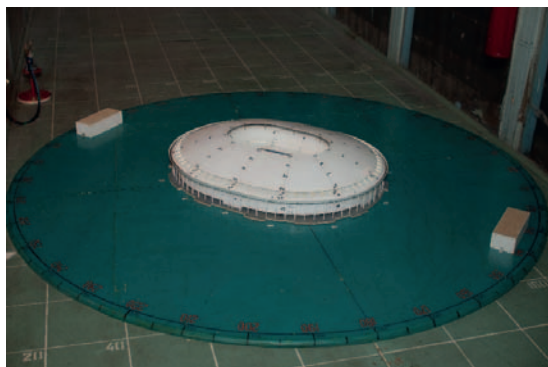
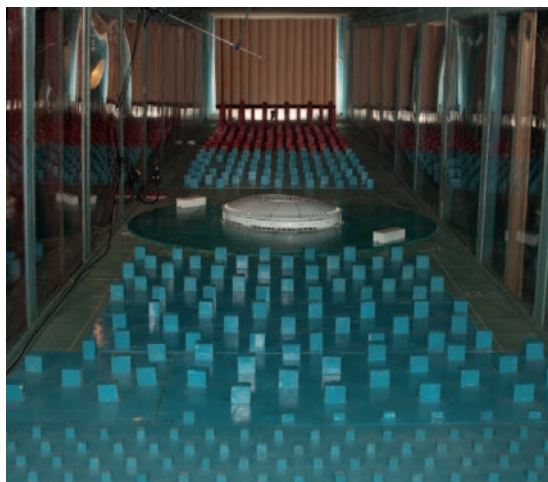


**Рис. 12.** Повторяемости средних значений скоростей ветра для метеостанции МГУ:  
а – за февраль 2012 г.; б – за январь 2015 г.

**Fig. 12.** Repeatability of average wind speeds recorded by the MSU weather station:  
а – in February 2012; б – in January 2015

## Сравнение натуральных измерений снеговой нагрузки на покрытие с результатами модельных испытаний в аэродинамической трубе

Модельные испытания для изучения снегопереноса и образования неравномерных снегоотложений на покрытиях новых форм и уникальных зданий и сооружений проводятся в соответствии с требованиями п. 10.4 и приложения Ж СП 20.13330.2016 [1]. Опыт



**Рис. 13.** Модель сооружения в аэродинамической трубе фирмы «Уникон», г. Новосибирск, 2014 год. Типы местности «В» и «А»

**Fig. 13.** Structure model in the wind channel of the "Unicon" company, Novosibirsk, 2014. Terrain types "B" and "A"

проведения подобных испытаний в нашей стране превышает 40 лет и за последние годы отражен в ряде публикаций (см., например, [16, 17]).

Модельные испытания БСА для исследования перераспределения снеговых нагрузок по покрытию под действием ветрового потока проводились в аэродинамической трубе фирмы «УНИКОН», г. Новосибирск, в 2014 году (рис. 13). Продувка модели сооружения проводилась по круговой панораме с шагом  $22,5^\circ$ , для типов местности «А» и «В».

Полученные характерные схемы неравномерного распределения имитатора снега по покрытию модели сооружения при различных направлениях ветрового потока представлены на рис. 14.

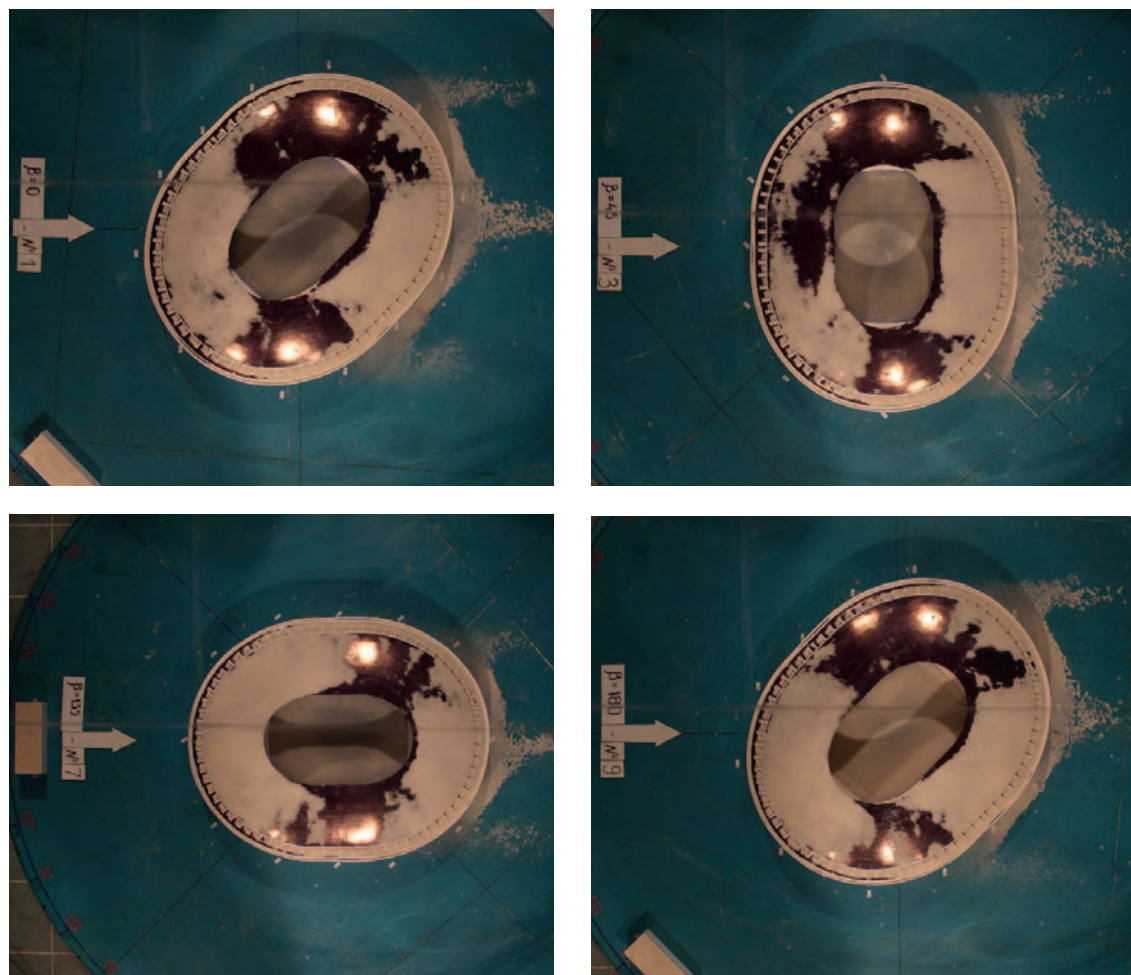
Из фото на рис. 14 мы видим чередование зон повышенных снегоотложений с зонами, свободными от снега. Повышенные снегоотложения максимальной плотности наблюдаются с подветренной стороны покрытия, а также в зоне верхнего пояса внутреннего контура с наветренной стороны. Такое перераспределение снеговой нагрузки по модели сооружения в целом подтверждается результатами натурных наблюдений на покрытии БСА, однако имеются некоторые заметные отличия.

Следует отметить, что модель БСА была выполнена из материала, имеющего более шероховатую поверхность по сравнению

с материалом натурального светопрозрачного покрытия. В связи с этим существенную роль в распределении снеговой нагрузки по натурному покрытию играет периодическое сползание снега с центральной части кровли на нижний опорный контур, что не могло быть учтено при проведении модельных испытаний. Поэтому результаты натурных наблюдений имеют в ряде случаев качественные отличия от результатов модельных аэродинамических испытаний.

В зоне верхнего пояса внутреннего контура натурные наблюдения показали, что снеговые отложения, как правило, сохраняются и даже накапливаются. При чередовании ветров различных направлений формируется локально неравномерная картина снегоотложений со сложным чередованием зон повышенных и пониженных снеговых нагрузок.

В некоторые годы наблюдался неравномерный перенос снега в направлении снизу вверх от центральной части к внутреннему контуру покрытия и одновременный перенос



**Рис. 14.** Характерные неравномерные распределения снеговой нагрузки по результатам модельных испытаний в аэродинамической трубе фирмы «УНИКОН», г. Новосибирск

**Fig. 14.** Characteristic uneven distribution of snow load according to model tests in the wind channel of the "UNICON" company, Novosibirsk

его в продольном направлении по пологим верхним участкам светопрозрачного покрытия с формированием локальных зон повышенных снегоотложений, которые превысили прогнозируемые значения снеговой нагрузки. Если максимальные рекомендуемые значения коэффициента формы  $\mu$  в зоне верхнего пояса внутреннего контура были приняты равными 1,2, то наблюдаемые в отдельные годы на небольших участках покрытия значения составили 1,35–1,5 к расчетным значениям ВСП для Москвы (см. рис. 8 г; 9 а, г).

В зоне покрытия, примыкающей к наружному контуру, модельные аэродинамические испытания показали существенное возрастание плотности и интенсивности снегоотложений с подветренной стороны покрытия, тогда как с наветренной стороны возрастание плотности заметно только возле перепадов высот со светопрозрачной частью покрытия. Такой характер перераспределения снеговой нагрузки в целом согласуется с данными натурных

наблюдений (см., например, рис. 9 *з*), однако в большинстве случаев, поскольку направления ветра в зимний период постоянно чередуются, картина распределения снеговой нагрузки становится гораздо более сложной.

Из рис. 8–10 мы видим, что плотность снегоотложений вдоль наружного контура меняется неравномерно с чередованием зон повышенных и пониженных значений снеговой нагрузки. При этом на некоторых локальных участках образуются снегоотложения максимальной интенсивности, которые могут быть оценены в отдельные годы коэффициентами формы 2,0–2,6 к расчетным значениям ВСП (см. рис. 9 *з*; 10 *в*, *д*). В целом распределение снеговой нагрузки в нижней зоне вдоль наружного контура согласуется с рекомендуемыми значениями.

На светопрозрачной части покрытия по данным натурных наблюдений можно выделить три характерных типа снеговой нагрузки:

- первый, близкий к равномерному, который наблюдается, как правило, в морозные маловетренные периоды зимы, а также непосредственно после снегопадов (см. рис. 8 *а*, *б*; 9 *в*; 10 *а*, *б*, *з*);

- второй – неравномерный с преобладанием повышенных снегоотложений на одной половине покрытия с подветренной стороны при сохранении зоны повышенных снегоотложений на нижнем участке с наветренной стороны либо при его отсутствии (см. рис. 8 *в*, 9 *а*);

- третий – сохранение локальных снегоотложений в разных частях кровли (см. рис. 8 *з*, 10 *в*).

Во многих случаях снеговая нагрузка на светопрозрачном покрытии полностью отсутствует ввиду сползания снега на наружный контур.

Полученные экспериментально коэффициенты формы снеговой нагрузки  $\mu$  отличаются от принятых рекомендуемых значений тем, что для светопрозрачного покрытия не наблюдается степенной зависимости между нагрузкой в его верхней и нижней частях. Распределение нагрузок меняется ступенчато в пределах отдельных зон и близко к равномерному в пределах каждой зоны. Снег сохраняется и накапливается в течение зимнего периода в верхней пологой части покрытия возле внутреннего контура.

На козырьке за период наблюдений с 2016 по 2019 год повышенных снеговых нагрузок не установлено.

## Выводы

1. Проведено натурное исследование веса снегового покрова на покрытии БСА «Лужники» за период с 1998 по 2019 год.

2. Выявлена сложная картина снегоотложений на покрытии, которая меняется не только от зимы к зиме, но и в пределах одного зимнего сезона.

3. Установлены основные закономерности распределения и перераспределения снеговой нагрузки по покрытию в зависимости от скоростей и направлений ветрового потока на сооружение в зимний период.

4. Выполнено сопоставление полученных результатов натурных измерений снеговой нагрузки на покрытие с данными проведенных модельных аэродинамических испытаний, которое показало в целом хорошее, но неполное подобие полученных результатов.

5. Выявлены качественные отличия снеговых нагрузок на светопрозрачной части покрытия БСА от результатов проведенных модельных испытаний вследствие применяемых

материалов покрытия, обладающих малой шероховатостью и имеющих слабое сцепление со снегом, что способствует его более интенсивному переносу и сползанию.

6. Значения снеговых нагрузок на покрытие БСА за период наблюдений в целом не превысили установленных рекомендуемых значений, за исключением локальных зон возле внутреннего контура.

7. При выборе возможных неблагоприятных схем распределения снеговых нагрузок для проведения расчетов несущих конструкций уникальных сооружений необходимо одновременно учитывать несколько возможных направлений снегопереноса под действием ветрового потока, при которых формируется неравномерная картина снегоотложений на покрытии.

## Список литературы

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* [с Изменениями № 1, № 2 и № 3, № 4] [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456044318>
2. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Москва: Стандартинформ; 2021.
3. Микулин В.Б., Одесский П.Д., Лебедева И.В. и др. Покрытие Большой спортивной арены стадиона «Лужники» [проектирование, научные исследования и строительство]. Москва: Фортэ; 1998.
4. Фарфель М.И., Гукова М.И., Коняшин Д.Ю. и др. Особенности реконструкции Большой спортивной арены стадиона «Лужники» к Чемпионату мира по футболу в 2018 году. Вестник НИЦ Строительство. 2017;(3):74–92.
5. Фарфель М.И. Обеспечение безаварийной эксплуатации уникального большепролетного покрытия Большой спортивной арены олимпийского стадиона «Лужники». Строительная механика и расчет сооружений. 2012;(6):56–61.
6. Микулин В.Б., Попов Н.А., Отставнов В.А., Фарфель М.И. Расчет покрытия Большой спортивной арены Олимпийского комплекса «Лужники». Сейсмостойкое строительство. 2003;(6):38–42.
7. Микулин В.Б., Фарфель М.И., Ханджи А.В. Покрытие Большой спортивной арены Олимпийского комплекса в Лужниках. В: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко 80 лет: сборник статей. Москва: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко; 2007. С. 46–55.
8. Mikulin V. B., Khandzhi A. V. Design and construction of mayor sports arena in Luzhniki. Moscow. In: Spatial Structures in new and Renovation project of Buildings and constructions (International congress ICSS-98, June 22–26 1998. Moscow. Russia). Moscow; 1998. P. 113–114.
9. ISO 4355:2013 Bases for design of structures – Determination of snow loads on roofs. Switzerland; 2013.
10. CEN. Eurocode 1: Actions on structures. – Part 1.3. Snow Loads. Brussels: CEN Central Secretariat; 2003.
11. ASCE Standard ASCE/SEI 7–10. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers; 2010.
12. Canadian Commission on Building and Fire Codes. National Building Code of Canada: 2015. National Research Council of Canada; 2015. <https://doi.org/10.4224/40002005>
13. Gumbel E. J. Statistics of extremes. New York: Columbia University Press; 1958. <https://doi.org/10.7312/gumb92958>
14. Otstavnov V. A., Lebedeva I. V. The new map of ground snow loads for Russian building code. In: Snow Engineering V. Proceedings of the fifth international conference on snow engineering, 5–8 July 2004, Davos, Switzerland. London: Taylor & Francis Group; 2004. P. 157–162.
15. Назаров Ю.П., Лебедева И.В., Попов Н.А. Региональное нормирование снеговых нагрузок в России. Строительная механика и расчет сооружений. 2006;(3):71–77.
16. Попов Н.А., Лебедева И.В., Богачев Д.С., Березин М.М. Ветровые и снеговые нагрузки на большепролетные покрытия. Промышленное и гражданское строительство. 2016;(12):50–55.
17. Лебедева И.В., Маслов А.В., Березин М.М. Экспериментальные исследования для установления расчетных параметров снеговых нагрузок. Вестник НИЦ «Строительство». 2020;25(2):66–76. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-2\(25\)-66-76](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-2(25)-66-76)

## References

1. SP 20.13330.2016. Loads and impacts. Updated version of SNiP 2.01.07-85\* [with Amendments No. 1, No. 2 and No. 3, No. 4]. [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456044318> (in Russian).
2. SP 131.13330.2020. Construction climatology. Moscow: Standartinform Publ.; 2021 (in Russian).
3. Mikulin V.B., Odessky P.D., Lebedeva I.V., et al. Covering of the Large Sports Arena of the Luzhniki Stadium [design, research and construction]. Moscow: Forte Publ.; 1998 (in Russian).
4. Farfel M.I., Gukova M.I., Konyashin D.Yu., et al. In particular, reconstruction of the Large Sports Arena of the Luzhniki Stadium for the 2018 FIFA World Cup. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2017;(3):74–92 (in Russian).
5. Farfel M.I. Ensuring trouble-free operation of the unique long-span covering of the Large Sports Arena of the Olympic stadium "Luzhniki". Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii = Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2012;(6):56–61 (in Russian).
6. Mikulin V.B., Popov N.A., Otstanov V.A., Farfel M.I. Calculation of the coverage of the Large sports arena of the Olympic complex "Luzhniki". Seismostoikeye stroitel'stvo = Earthquake engineering. 2003;(6):38–42 (in Russian).
7. Mikulin V.B., Farfel M.I., Khandzhi A.V. Covering the Large sports arena of the Olympic Complex in Luzhniki. V.A. Koucherenko TSNIISK 80 years old. Collection of articles. Moscow: V.A. Koucherenko TSNIISK; 2007. P. 46–55 (in Russian).
8. Mikulin V.B., Khandzhi A.V. Design and construction of mayor sports arena in Luzhniki. Moscow. In: Spatial Structures in new and Renovation project of Buildings and constructions (International congress ICSS-98, June 22–26 1998. Moscow. Russia). Moscow; 1998. P. 113–114.
9. ISO 4355:2013. Bases for design of structures — Determination of snow loads on roofs. Published in Switzerland; 2013.
10. CEN. Eurocode 1: Actions on structures. – Part 1.3. Snow Loads. CEN Central Secretariat Brussels: CEN Central Secretariat; 2003.
11. ASCE Standard ASCE/SEI 7-10. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers; 2010.
12. Canadian Commission on Building and Fire Codes. National Building Code of Canada: 2015. National Research Council of Canada; 2015. <https://doi.org/10.4224/40002005>
13. Gumbel E.J. Statistics of extremes. New York: Columbia University Press; 1958. <https://doi.org/10.7312/gumb92958>
14. Otstavnov V.A., Lebedeva I.V. The new map of ground snow loads for Russian building code. In: Snow Engineering V. Proceedings of the fifth international conference on snow engineering, 5–8 July 2004, Davos, Switzerland. Davos, 2005. London: Taylor & Francis Group; 2004. P. 157–162.
15. Nazarov Yu.P., Lebedeva I.V., Popov N.A. Regional rationing of snow loads in Russia. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii = Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2006;(3):71–77 (in Russian).
16. Popov N.A., Lebedeva I.V., Bogachev D.S., Berezin M.M. Wind and snow loads on long-span coatings. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2016;(12):50–55 (in Russian).
17. Lebedeva I.V., Maslov A.V., Berezin M.M. Experimental researches for assignment of snow loads design parameters. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2020;25(2):66–76 (in Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-2\(25\)-66-76](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-2(25)-66-76)

## Информация об авторах / Information about the authors

**Ирина Владимировна Лебедева**✉, канд. техн. наук, заведующий лабораторией надежности сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: ilebedeva61@gmail.com  
тел.: +7 (499) 174-77-35

**Irina V. Lebedeva**✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory, Laboratory of Structural reliability of the TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: ilebedeva61@gmail.com  
tel.: +7 (499) 174-77-35

**Михаил Иосифович Фарфель**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией нормирования, реконструкции и мониторинга уникальных зданий и сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», доцент кафедры металлических и деревянных конструкций НИУ МГСУ, Москва

e-mail: farfelmi@yandex.ru

тел.: +7 (499) 170-10-87

**Mikhail I. Farfel**, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory, Laboratory of Reconstruction, Standardization, and Monitoring of Unique Buildings and Structures of the TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Associate Prof., Department of Metal and Wooden Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

e-mail: farfelmi@yandex.ru

tel.: +7 (499) 170-10-87

**Дмитрий Юрьевич Коняшин**, научный сотрудник лаборатории нормирования, реконструкции и мониторинга уникальных зданий и сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва,

e-mail: dk10@yandex.ru

тел.: +7 (925) 271-00-10

**Dmitry Yu. Konyashin**, Researcher, Laboratory of Reconstruction, Standardization, and Monitoring of Unique Buildings and Structures of the TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: dk10@yandex.ru

tel.: +7 (925) 271-00-10

**Максим Михайлович Березин**, руководитель лаборатории строительной аэродинамики Новосибирского отдела аэродинамики сооружений, Научно-исследовательская и проектно-строительная фирма «УНИКОН», Кемерово

e-mail: m-berezin@bk.ru

**Maxim M. Berezin**, Head of Laboratory, Laboratory of Structural Aerodynamics of the Novosibirsk Department of Aerodynamics of Structures of the Research and Development and Construction Company "UNICON", Kemerovo

e-mail: m-berezin@bk.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author