

УДК 624.014.41

DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-3-193-200

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Результаты компьютерного расчета величины ветровой нагрузки, действующей на свод из вальцованных профилей

Ю.А. Веселев¹, М.С. Карабутов²*Донской государственный технический университет, Российская Федерация, 344025, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162/32*

Ключевые слова:

виртуальная аэродинамическая труба;
цветовая индикация;
ветровая нагрузка;
воздушные зоны;
компьютерное моделирование

Аннотация

Целью исследования является численное определение воздействия ветровых нагрузок на свод из вальцованных профилей системы МІС-120.

Методы. В статье приведены расчеты по определению величины ветровой нагрузки, действующей на свод из вальцованных профилей, и сопоставление результатов компьютерного моделирования с СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Исследование проводилось путем моделирования виртуальной аэродинамической трубы с помещенным в нее сводом из вальцованных металлических профилей для ветра, действующего в торец свода (вдоль образующей), перпендикулярно к своду и под углом, а также вдоль него с изменением пролета от 12 до 24 метров. Моделирование свода из вальцованных профилей и виртуальной аэродинамической трубы выполнялось в программном комплексе COSMOSFloWorks по изложенной в ранних публикациях методике [2; 11]. Теоретико-методологическую основу исследования составили уравнения Навье – Стокса и уравнения состояния компонентов текучей среды.

Результаты. Рассчитано давление на свод в зависимости от траектории и скорости ветра в разных ветровых районах и направлениях действия ветрового потока, произведено сравнение давления на свод, полученное с помощью компьютерного моделирования, с давлением по СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия», сопоставлены результаты по ветровому давлению для гладкого и ребристого сводов с одинаковыми параметрами, полученных компьютерным моделированием [14–17]. По итогам расчетов можно заключить, что нормативное давление по СП не меняется в зависимости от пролета, а результаты компьютерного моделирования показывают изменение давления от величины пролета.

История статьи:

Поступила в редакцию: 07 декабря 2018 г.

Доработана: 21 февраля 2019 г.

Принята к публикации: 24 апреля 2019 г.

Для цитирования

Веселев Ю.А., Карабутов М.С. Результаты компьютерного расчета величины ветровой нагрузки, действующей на свод из вальцованных профилей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 3. С. 193–200. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-3-193-200>

Введение

С помощью программного комплекса COSMOSFloWorks была смоделирована виртуальная аэродинамическая труба, в которую помести-

ли свод из вальцованных металлических профилей системы МІС-120, а также задана скорость ветра и рассчитаны траектории обтекания ветровым потоком задаваемого свода, замененного для упрощения моделирования гладким сводом с наружными ребрами такой же высоты и с таким же шагом, как у вальцованного профиля.

Цель исследования – численное определение воздействия ветровых нагрузок на свод из вальцованных профилей системы МІС-120.

Материалы и методы

В программном комплексе COSMOSFloWorks движение текучей среды моделируется с помощью

Благодарности. Посвящается светлой памяти профессора, к.т.н. Веселева Юрия Алексеевича. Автор скончался 14 марта 2014 года. С благодарностью друзья, коллеги, ученики.

¹ **Веселев Юрий Алексеевич**, кандидат технических наук, профессор, кафедра металлических, деревянных и пластмассовых конструкций, Академия строительства и архитектуры.

² **Карабутов Михаил Сергеевич**, студент, кафедра металлических, деревянных и пластмассовых конструкций, Академия строительства и архитектуры, ORCID iD: 0000-0003-1481-3363, kmemishka@rambler.ru

© Веселев Ю.А., Карабутов М.С., 2019



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

уравнений Навье – Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии этой среды. Кроме того, используются уравнения состояния компонентов текучей среды, а также эмпирические зависимости вязкости и теплопроводности этих компонентов от температуры. Неньютоновские жидкости задаются зависимостью их коэффициента вязкости от скорости сдвиговых деформаций и температуры, сжимаемые жидкости задаются зависимостью их плотности от давления. Этими уравнениями моделируются турбулентные, ламинарные и переходные течения. Между ламинарным и турбулентным течением переход определяется критическим значением числа Рейнольдса. Для моделирования турбулентных течений (они встречаются в инженерной практике наиболее часто) упомянутые уравнения Навье – Стокса осредняются по Рейнольдсу, т.е. используется осредненное по малому масштабу времени влияние турбулентности на параметры потока, а крупномасштабные временные изменения, осредненные по малому масштабу времени составляющих газодинамических параметров потока (давления, скоростей, температуры), учитываются введением соответствующих производ-

ных по времени [9]. В результате уравнения имеют дополнительные члены – напряжения по Рейнольдсу, а для замыкания этой системы уравнений в COSMOSFloWorks используются уравнения переноса кинетической энергии турбулентности и ее диссипации в рамках $k-z$ модели турбулентности [1].

Расчет производился для ветра, действующего в торец свода (вдоль образующей), перпендикулярно к своду и под углом к нему с изменением пролета от 12 до 24 метров [13]. Нормативные скорости ветра для восьми ветровых районов представлены в табл. 1. Полученные расчетом изополя ветрового обтекания свода с цветовой индикацией скоростей потоков показаны на рис. 1–5. Распределения ветрового давления представлены на рис. 6–11 [12].

Таблица 1

Скорость ветра по районам, м/с
[Table 1. Wind speed by areas, m/s]

Район	1a	1	2	3	4	5	6	7
Скорость ветра	18	21	24	27	30	33	37	40

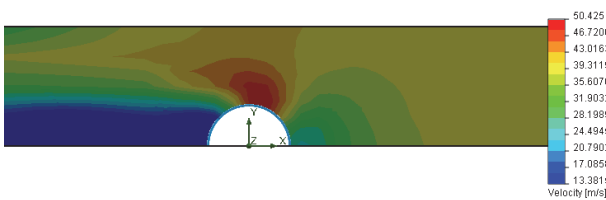


Рис. 1. Цветовые изополя распределения скоростей ветрового потока при направлении ветра перпендикулярно образующей свода пролетом 12 м в 7-м ветровом районе: сечение 1–1 (рис. 12)

[Figure 1. Color isofield velocity distribution of wind flow with wind direction perpendicular to the roof generatrix of the 12-meter span in 7th wind region: section 1–1 (Figure 12)]

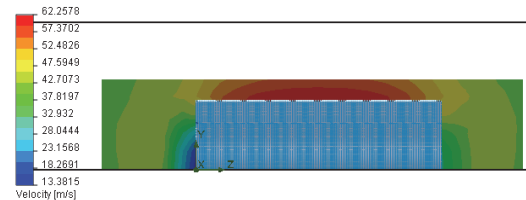


Рис. 2. Цветовые изополя распределения скорости ветра при его направлении перпендикулярно образующей свода пролетом 18 м в 7-м ветровом районе: вид сбоку, сечение 2–2 (рис. 12)

[Figure 2. Color isofield velocity distribution of wind flow with wind direction perpendicular to the roof generatrix of the 18-meter span in 7th wind region: lateral projection, section 2–2 (Figure 12)]

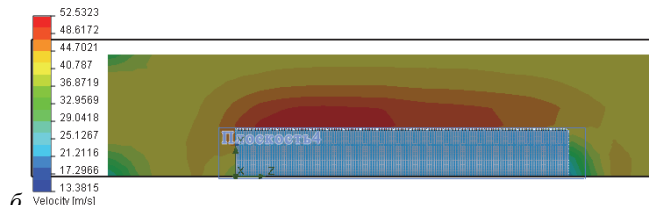
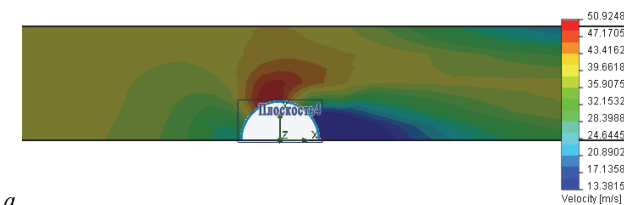


Рис. 3. Цветовые изополя распределения скорости ветра при его направлении под углом к своду пролетом 12 м в 7-м ветровом районе: а – сечение 1–1; б – сечение 2–2 (рис. 12)

[Figure 3. Color isofield velocity distribution of wind flow in the direction of the wind at an angle to the arch of the 12-meter span in 7th wind region: а – section 1–1; б – section 2–2 (Figure 12)]

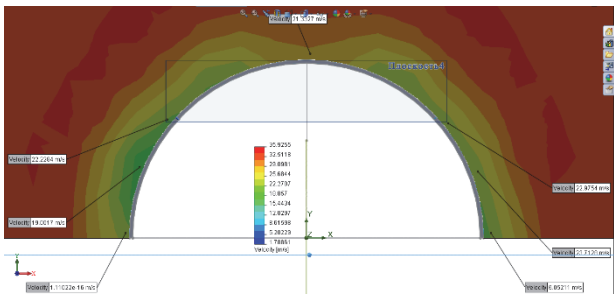


Рис. 4. Цветовые изополя распределения скорости ветра при его направлении вдоль образующей свода пролетом 18 м в 3-м ветровом районе: сечение 1–1 (рис. 12)
 [Figure 4. Color isofields distributions of wind speed at its direction along the generatrix arch of the 18-meter span in 3rd wind region: section 1–1 (Figure 12)]

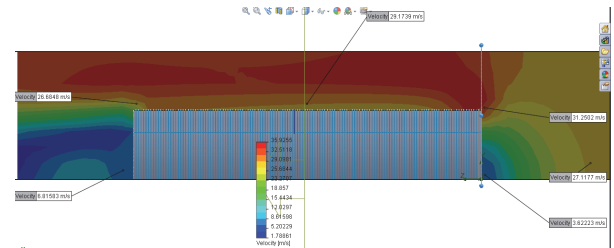


Рис. 5. Цветовые изополя распределения скорости ветра при его направлении вдоль образующей свода пролетом 18 м в 3-м ветровом районе: сечение 2–2 (рис. 12)
 [Figure 5. Color isofields distributions of wind speed at its direction along the generatrix arch of the 18-meter span in 3rd wind region: section 2–2 (Figure 12)]

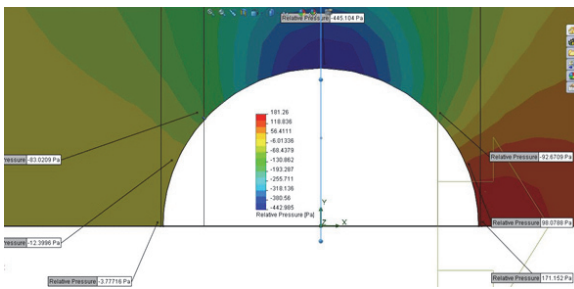


Рис. 6. Зоны распределения давления при направлении ветра перпендикулярно образующей свода пролетом 18 м в 1-м ветровом районе: сечение 1–1 (рис. 12)
 [Figure 6. Zones of pressure distribution with wind direction perpendicular to the generatrix arch of the 18-meter span in the 1st wind region: section 1–1 (Figure 12)]

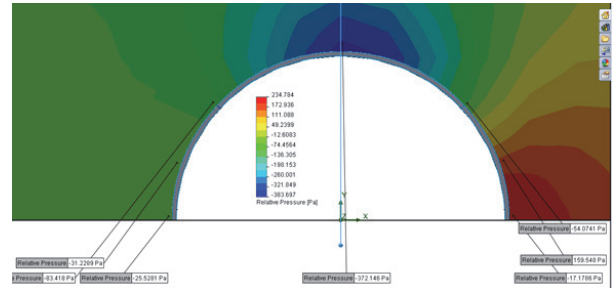


Рис. 7. Зоны распределения давления при направлении ветра перпендикулярно образующей свода пролетом 12 м в 1-м ветровом районе: сечение 1–1 (рис. 12)
 [Figure 7. Zones of pressure distribution with wind direction perpendicular to the generatrix arch of the 12-meter span in the 1st wind region: section 1–1 (Figure 12)]

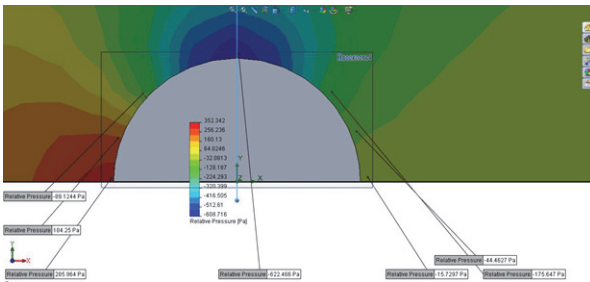


Рис. 8. Зоны распределения давления при направлении ветра под углом к своду пролетом 12 м во 2-м ветровом районе: сечение 1–1 (рис. 12)
 [Figure 8. Zones of pressure distribution with wind direction perpendicular to the generatrix arch of the 12-meter span in the 2nd wind region: section 1–1 (Figure 12)]

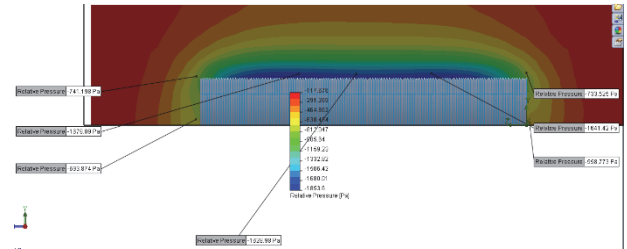


Рис. 9. Зоны распределения давления при направлении ветра под углом к своду пролетом 12 м в 7-м ветровом районе: сечение 2–2 (рис. 12)
 [Figure 9. Pressure distribution zones with wind direction at an angle to the arch of the 12-meter span in the 7th wind region: section 2–2 (Figure 12)]

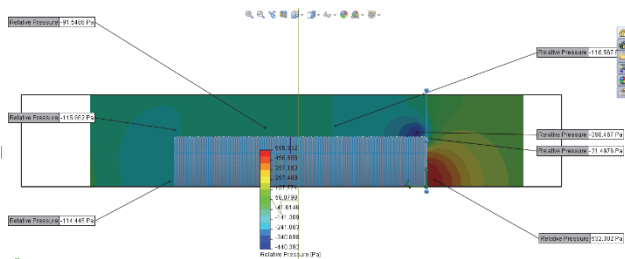


Рис. 10. Зоны распределения давления при направлении ветра вдоль образующей свода пролетом 18 м в 3-м ветровом районе: сечение 2–2 (рис. 12)
 [Figure 10. Pressure distribution zones with the wind direction along the arch generatrix of the 18-meter span in the 3rd wind region: section 2–2 (Figure 12)]

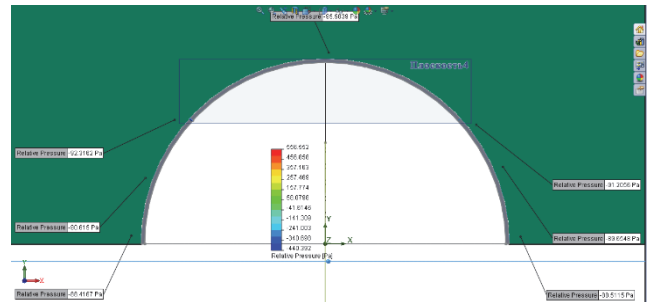


Рис. 11. Зоны распределения давления при направлении ветра вдоль образующей свода пролетом 18 м в 3-м ветровом районе: сечение 1–1 (рис. 12)
 [Figure 11. Pressure distribution zones with the wind direction along the arch generatrix of the 18-meter span in the 3rd wind region: section 1–1 (Figure 12)]

По полученным данным давления и скорости ветра были построены картины изолиний зон распределения давления на свод при движении воздушного потока под разными углами к образующей (рис. 12).

Характер изменения давления на поверхность свода по его продольным и поперечным сечениям при действии ветра под разными углами показан цветовыми изоповерхностями на рис. 13–16.

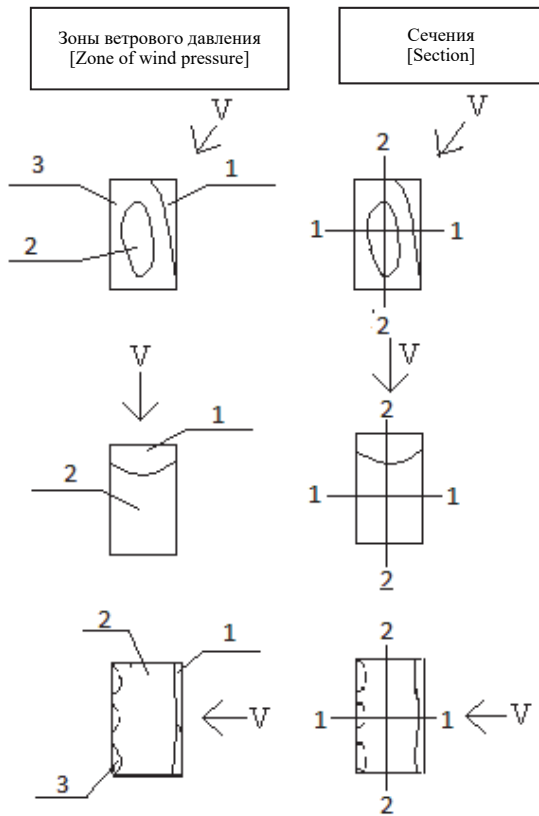


Рис. 12. Зоны распределения ветрового давления [Figure 12. Wind pressure distribution zones]

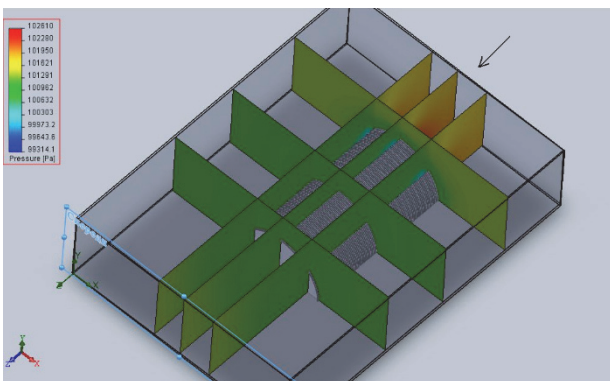


Рис. 13. Изоповерхности давления воздуха по сечениям при действии ветра вдоль свода [Figure 13. Isosurfaces of air pressure in cross-sections under the action of wind along the roof]

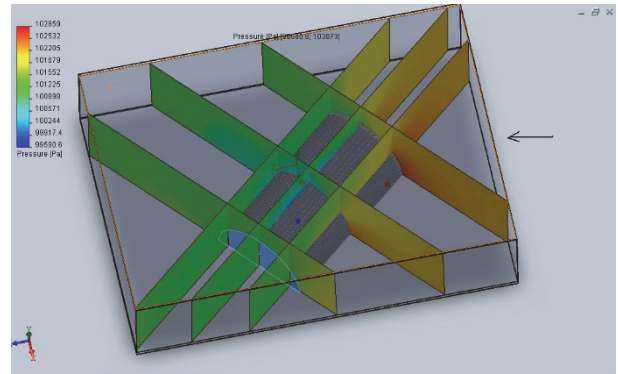


Рис. 14. Изоповерхности давления воздуха по сечениям при действии ветра под углом к своду [Figure 14. Isosurfaces of air pressure in sections under the action of wind at an angle to the arch]

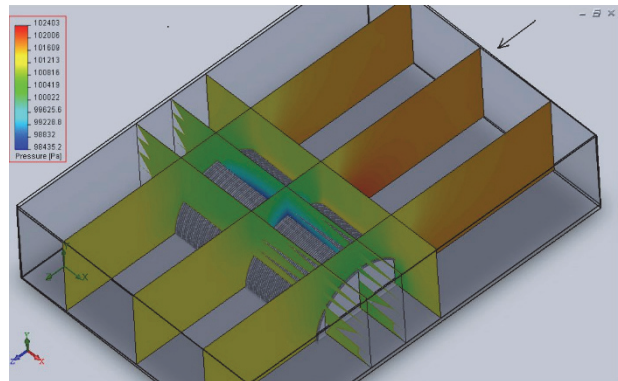


Рис. 15. Изоповерхности давления воздуха по сечениям при действии ветра перпендикулярно к своду [Figure 15. Isosurfaces of air pressure in cross-sections under the action of wind-perpendicular to the arch]

Результаты

Полученные средние результаты давлений по трем зонам (рис. 12) при направлении действия ветра перпендикулярно своду и под углом к нему представлены в табл. 2 и 3 соответственно. На основании этих данных можно определить давление в любой зоне свода в зависимости от пролета и ветрового района. На рис. 16 показан поперечный разрез средней части свода с направлениями действующего давления на свод по зонам [1].

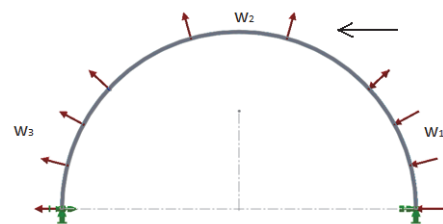


Рис. 16. Схема расположения зон давления на свод: сечение 1–1 (рис. 12) [Figure 16. Layout of pressure zones on the roof: section 1–1 (Figure 12)]

Таблица 2

Давление при направлении ветра перпендикулярно образующей свода, Па
 [Table 2. Pressure with wind direction perpendicular to the arch, Pa]

Район [Area]	1a	1	2	3	4	5	6	7	Зона [Zone]
Пролет, м [Span, m]									
24	31,08	131,6	172,2	179,9	257	279,6	338	476	1
	-209	-264	-300,6	-367,5	-433	-584	-691,3	-832	2
	-93,6	-31,3	-39,38	-50,77	-53,4	-70,4	-85,88	-106	3
18	58,85	120,7	144,89	169	235	289,2	322,8	403,7	1
	-207	-376	-467,8	-532,3	-744	-905	-1074	-1281	2
	-33,1	-62,9	-73,34	-90,01	-134	-156	-185,6	-217	3
12	101,8	136,4	172,47	252,2	287,9	343	441	532,1	1
	-170	-227	-299,9	-377,1	-479	-564	-721,2	-841	2
	-46,7	-61,4	-83,09	-110,6	-132	-154	-207,9	-243	3

Таблица 3

Давление при направлении ветра под углом к своду, Па
 [Table 3. Pressure at wind direction at an angle to the arch, Pa]

Район [Area]	1a	1	2	3	4	5	6	7	Зона [Zone]
Пролет, м [Span, m]									
24	123,8	163,8	163,7	211,7	263,8	323,2	375,55	460,28	1
	-226	-277	-280,7	-350	-429	-536	-646,4	-762,6	2
	-47	-59,2	-51,22	-71	-83,1	-106	-144,3	-160,7	3
18	111,5	135,7	198,3	260,5	311,5	412,9	505,99	553,61	1
	-246	-330	-412,6	-539	-661	-770	-1032	-1178	2
	-61	-106	-105,7	-141	-171	-190	-272,8	-305,3	3
12	58,97	87,59	127	175,7	185,3	194,9	250,25	348,25	1
	-137	-217	-295,7	-375	-424	-473	-591,4	-637,6	2
	-34,9	-52,9	-78,61	-103	-113	-123	-149,3	-173,6	3

Обсуждение

При действии ветра вдоль образующей свода наблюдается снижение скорости ветра вдоль нее, что показано на рис. 5. Давление, близкое к нулю, изображено на рис. 11. Снижение скорости ветра при обдувании ветровым потоком вдоль свода вызвано особенностями последнего [2]. Как уже было сказано, свод состоит из U-образных вальцованных профилей, стенки которых представляют собой вертикальные ребра, оказывающие сопротивление воздушному потоку, уменьшающие скорость ветра и, следовательно, давление на свод [3]. Снижение скорости ветра вдоль образующей свода вызывает неравномерность его деформаций в этом направлении.

Сравним давление на свод, полученное с помощью компьютерного моделирования, с давлением по СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Вычислим давление на свод по СП и занесем данные в табл. 4 по зонам, в зависимости от ветрового района и пролета здания [4].

Сравнивая величины нормативного давления для гладкого свода (табл. 4) и давления, полученного компьютерным моделированием, для свода с ребрами (табл. 2), легко увидеть, что нормативное давление по СП не меняется в зависимости от пролета, т.к. отношение стрелы подъема свода к пролету постоянно, а компьютерное моделирование для свода с ребрами показывает, что в одном и том же ветровом районе при изменении пролета от 12 до 18 м давление растет, а от 18 до 24 м – падает. Это различие ставит ряд задач по дальнейшему, более тщательному изучению влияния ветра на тонкостенные металлические своды из вальцованных профилей [10; 11].

Вместе с тем представляет интерес сравнение результатов по ветровому давлению для гладкого и ребристого сводов с одинаковыми параметрами, полученных компьютерным моделированием. Эти результаты представлены в табл. 5 и 6 для свода пролетом 18 м, изображенном на рис. 17 [10].

Таблица 4

Давление на свод при направлении ветра перпендикулярно образующей по СП 20.13330.2011, Па
 [Table 4. Pressure on the arch when the wind direction is perpendicular to the generatrix according to the Construction Rules 20.13330.2011, Pa]

Район [Area]	1a	1	2	3	4	5	6	7	Зона [Zone]
Пролет, м [Span, m]									
24	108,8	147,2	192	243,2	307,2	384	467,2	544	1
	-163,2	-220,8	-288	-364,8	-460,8	-576	-700,8	-816	2
	-54,4	-73,6	-96	-121,6	-153,6	-192	-233,6	-272	3
18	108,8	147,2	192	243,2	307,2	384	467,2	544	1
	-163,2	-220,8	-288	-364,8	-460,8	-576	-700,8	-816	2
	-54,4	-73,6	-96	-121,6	-153,6	-192	-233,6	-272	3
12	108,8	147,2	192	243,2	307,2	384	467,2	544	1
	-163,2	-220,8	-288	-364,8	-460,8	-576	-700,8	-816	2
	-54,4	-73,6	-96	-121,6	-153,6	-192	-233,6	-272	3

Таблица 5

Давление при направлении ветра перпендикулярно образующей свода
 [Table 5. Pressure with wind direction perpendicular to the arch]

Район [Area]	1a	1	2	3	4	5	6	7	Зона [Zone]
Пролет, м [Span, m]									
<i>Гладкий свод [Smooth arch]</i>									
18	55,34	114,8	140,45	175,8	221	258,5	318	353,8	1
	-208	-383	-477,3	-536,7	-750	-931	-1096	-1281	2
	-34	-63,7	-80,38	-94,3	-133	-160	-193	-220	3
<i>Свод с ребрами [Arch with ribs]</i>									
18	58,85	120,7	144,89	169	235	269,2	322,8	403,7	1
	-207	-376	-467,8	-532,3	-744	-905	-1074	-1281	2
	-33,1	-62,9	-73,34	-90,01	-134	-156	-185,6	-217	3

Таблица 6

Давление при направлении ветра под углом к образующей свода
 [Table 6. Pressure at wind direction at an angle to the arch]

Район [Area]	1a	1	2	3	4	5	6	7	Зона [Zone]
Пролет, м [Span, m]									
<i>Гладкий свод [Smooth arch]</i>									
18	114,6	152,2	206,4	269,4	314,5	365,5	496,66	580,14	1
	-242	-314	-424,1	-538	-663	-771	-915	-1176	2
	-57,3	-75,1	-107,4	-129	-173	-184	-257,7	-302,2	3
<i>Свод с ребрами [Arch with ribs]</i>									
18	111,5	135,7	198,3	260,5	311,5	412,9	505,99	553,61	1
	-246	-330	-412,6	-539	-661	-770	-1032	-1178	2
	-61	-106	-105,7	-141	-171	-190	-272,8	-305,3	3

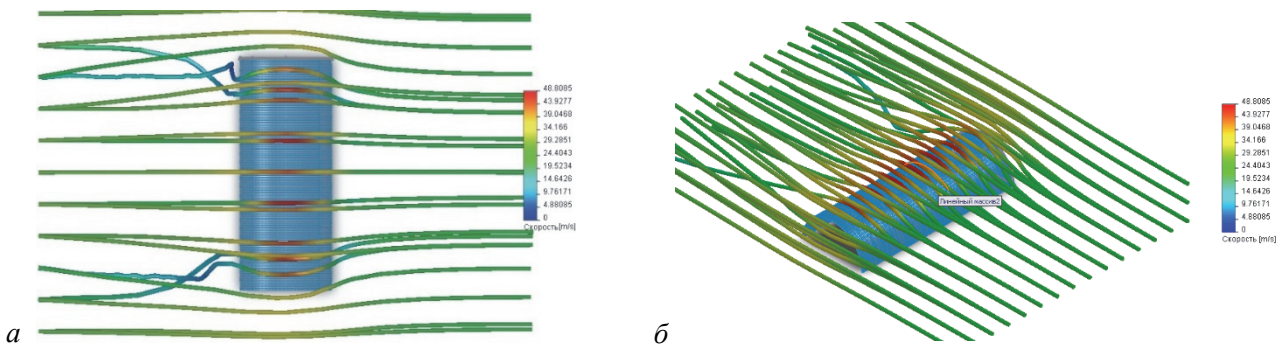


Рис. 17. Моделирование обтекания ветровым потоком свода:
 а – вид сверху; б – изометрия
 [Figure 17. Modelling of wind flow around the arch:
 a – top view; б – isometry]

Выводы

Из данных в таблицах видно, что при обдувании перпендикулярно своду давление на поверхность схожи для обоих сводов [8; 9]. При действии ветра под углом к сводам наблюдается та же картина. Таким образом, влияние стенок профиля мало сказывается на величинах ветрового давления ввиду небольшой их высоты по сравнению с основными размерами свода. Это дает возможность вести расчет ветровой нагрузки для сводов из вальцованных профилей системы МПС-120 как для гладких сводов при действии ветра поперек длины свода [5–7; 9].

Список литературы

1. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Хартонович А.И. SolidWorks: компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб.: БВХ-Петербург, 2005. 800 с.
2. Веселев Ю.А., Карабутов М.С. Особенности влияния ветрового потока, действующего на сводчатые покрытия под разными углами // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2010. № 4. С. 11–18.
3. Веселев Ю.А., Карабутов М.С. Приведение вальцованного U-образного профиля с редуцированными жесткостными характеристиками к гладкому тавровому профилю // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2012. № 1. С. 30–37.
4. Авдонин А.С. Прикладные методы расчета оболочек и тонкостенных конструкций. М., 1969. 405 с.
5. Айрумян Э.А., Румянцева И.А. Прочность и надежность бескаркасных арочных зданий из стальных

- холодногнутых профилей // Монтажные и специальные работы в строительстве. 1998. № 8. С. 8–9.
6. Айрумян Э.Л., Емелин Е.И., Барсков Д.П. Устойчивость оболочек из гофрированных стальных профилей // Промышленное строительство. 1990. № 10. С. 18–19.
 7. Андрианов И.В., Лесническая В.А., Маневич Л.И. Метод усреднения в статистике и динамике ребристых оболочек. М., 1985. 224 с.
 8. Аржаников Н.С., Мальцев В.Н. Аэродинамика. М., 1952. 481 с.
 9. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений. СПб.: Балтийский гос. ун-т, 2001. 108 с.
 10. Веселев Ю.А., Карабутов М.С. Сравнение поведения свода из вальцованных профилей при загрузке ветровой нагрузкой по нормам и нагрузкой, полученной компьютерным моделированием // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2012. № 1. С. 74–81.
 11. Веселев Ю.А., Карабутов М.С. Экспериментальное изучение поведения свода из вальцованных металлических тонкостенных профилей при действии ветра и сравнение полученных результатов с результатами компьютерного моделирования обдувания свода ветром // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2012. № 2. С. 72–77.
 12. Гордеев В.Н. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М.: АСБ, 2007. 482 с.
 13. Карабутов М.С. Твердотельное моделирование тонкостенных вальцованных профилей металлических сводов // Строительство-2008: материалы международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2008. С. 55.
 14. American Society of Civil Engineers. Minimum design loads for buildings and other structures. New York, 1998.
 15. Simiu E., Scanlan R.H. Wind Effects on Structures. 1978. 359 p.
 16. Merritt F.S., Ricketts J.T. Building design and construction handbook. USA, 2001. 1722 p.
 17. Mehta K.C., Delahay J. Guide to the use of the wind load provisions of ASCE 7-02. USA, 2004. 127 p.

RESEARCH PAPER

The results of computer analysis of the wind load acting on the set of rolled profiles

Yu.A. Veselev¹, M.S. Karabutov²

Don State Technical University, 162/32 Socialist St., Rostov-on-Don, 344025, Russian Federation

Keywords:

virtual wind tunnel;
color indication;
wind load;
air zones;
computer modelling

Abstract

The aim of the research is to numerically determine the effect of wind loads on the roof of the rolled profiles of the MIC-120 system.

Methods. There were made some calculations in this article of wind load, acting on rolled metal thin-sheet profiles arch and a comparison of computer modeling and buildings requirement such as Building Rules “Loads and Actions” results.

Acknowledgements. Dedicated to the blessed memory of Professor, Candidate of Technical Sciences Yury A. Veselev. The author died on 14 March 2014. Friends, colleagues, students are grateful.

¹ Yury A. Veselev, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, Metal, Wooden and Plastic Designs Department.

² Mikhail S. Karabutov, student, Metal, Wooden and Plastic Designs Department, ORCID iD: 0000-0003-1481-3363, kmcmishka@rambler.ru

Article history:

Received: December 07, 2018

Revised: February 21, 2019

Accepted: April 24, 2019

For citation

Veselev Yu.A., Karabutov M.S. (2019). The results of computer analysis of the wind load acting on the set of rolled profiles. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 15(3), 193–200. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-3-193-200> (In Russ.)

References

1. Aljamovskij A.A., Sobachkin A.A., Odintsov E.V., Kharitonovich A.I. (2005). *SolidWorks komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike [SolidWorks: computer modelling in engineering practice]*. Saint Petersburg: BvH-Peterburg Publ. (In Russ.)
2. Veselev J.A., Karabutov M.S. (2010). Osobennosti vliyaniya vetrovogo potoka, dejstvuyushchego na svodchatye pokrytiya pod raznymi uglami [Features of influence of wind flow acting on domes at different angles]. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (4), 11–18. (In Russ.)
3. Veselev J.A., Karabutov M.S. (2012). Privedenie val'covannogo U-obraznogo profilya s reducirovannymi zhestkostnymi karakteristikami k gladkomu tavrovomu profilyu [Reduction of rigid rolled U-shaped arch profile to a profile with T-section]. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (1), 30–37. (In Russ.)
4. Avdonin A.S. (1969). *Prikladnye metody rascheta obolochek i tonkostennykh konstrukcij [Applied methods of calculation of covers and thin-walled designs]*. Moscow. (In Russ.)
5. Ajrumjan E.A., Rumjantseva I.A. (1998). Prochnost' i nadezhnost' beskarkasnyh arochnyh zdaniy iz stal'nyh holodnognutyh profilej [Durability and reliability frameless arch buildings from steel rigid rolled profiles]. *Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve [Installation and specialized works in construction]*, (8), 8–9. (In Russ.)
6. Ajrumjan E.L., Emelin E.I., Barskov D.P. (1990). Ustojchivost' obolochek iz gofirovannykh stal'nykh profilej [Stability of covers from the goffered steel profiles]. *Promyshlennoe stroitel'stvo [Industrial building]*, (10), 18–19. (In Russ.)
7. Andrianov I.V., Lesnichaja V.A., Manevich L.I. (1985). *Metod usredneniya v statistike i dinamike rebristyh obolochek [Method of averaging in the statistic and dynamics of ridge covers]*. Moscow, 224. (In Russ.)
8. Arzhanikov N.S., Maltsev V.N. (1952). *Aerodinamika [Aerodynamics]*. Moscow. (In Russ.)
9. Belov I.A., Isaev S.A. (2001). *Modelirovanie turbulentnykh techenij [Modeling of turbulent flows]*. Saint Petersburg: the Baltic State University. (In Russ.)
10. Veselev J.A., Karabutov M.S. (2012). Sravnenie povedeniya svoda iz val'covannykh profilej pri zagruzhennii vetrovoj nagruzkoj po normam i nagruzkoj, poluchennoj komp'yuternym modelirovaniem [Comparison of behaviour of the arch from a metal thin-sheet profiles at loading wind loading on norms and the loading received by computer modelling]. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (1), 74–81. (In Russ.)
11. Veselev J.A., Karabutov M.S. (2012). Eksperimental'noe izuchenie povedeniya svoda iz val'covannykh metallicheskih tonkostennykh profilej pri dejstvii vetra i sravnenie poluchennykh rezul'tatov s rezul'tatami komp'yuternogo modelirovaniya obduvaniya svoda vetrom [Experimental research of behavior of shell made of rolled metal thin-sheet profiles subjected to the wind action and comparison of experimental results with the results of computer modeling of wind pressure]. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (2), 72–77. (In Russ.)
12. Gordeyev V.N. (2007). *Nagruzki i vozdejstviya na zdaniya i sooruzheniya [Loadings and influences on buildings and constructions]*. Moscow: ACB Publ. (In Russ.)
13. Karabutov M.S. (2008). Tverdotel'noe modelirovanie tonkostennykh val'covannykh profilej metallicheskih svodov [Solid-state modelling thin-walled a metal thin-sheet profiles of the metal arches]. *Stroitel'stvo-2008: materials of the international scientifically-practical conference*. Rostov on Don: the Rostov State Building University. (In Russ.)
14. American Society of Civil Engineers. (1998). *Minimum design loads for buildings and other structures*. New York.
15. Simiu E., Scanlan R.H. (1978). *Wind Effects on Structures*.
16. Merritt F.S., Ricketts J.T. (2001). *Building design and construction handbook*. USA.
17. Mehta K.C., Delahay J. (2004). *Guide to the use of the wind load provisions of ASCE 7-02*. USA.