

УДК 624.075+624.046

Манапов А.З. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: man48-75@mail.ru

Зиннуров Т.А. – аспирант

E-mail: leongar@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

О ВЛИЯНИИ КОЛИЧЕСТВА ОДНОТИПНЫХ СООРУЖЕНИЙ И РАСЧЕТНОГО ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОЖИДАЕМЫЕ МАКСИМАЛЬНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ ВЕТРА

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты статистического моделирования ветровой нагрузки в виде годовых максимумов, зависящие от количества сооружений и времени эксплуатации этих сооружений, а также описана корреляция полученных при моделировании значений с коэффициентом вероятности, предложенным в нормах Eurocode.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: годовые максимумы, период эксплуатации, однотипные сооружения, статистическое моделирование, коэффициент вероятности.

Manapov A.Z. – candidate of technical sciences, associate professor

Zinnurov T.A. – post-graduate student

Kazan State University of Architecture and Engineering

ABOUT INFLUENCE OF SIMILAR CONSTRUCTIONS QUANTITY AND AN ESTIMATED OPERATION TIME ON EXPECTED MAXIMAL WIND VELOCITY REALIZATIONS

ABSTRACT

The results of statistical modeling of wind loading, in the form of annual maximum, depending on constructions quantity and operation time of these constructions are represented, and also correlation of values received at modeling with factor of probability, offered in Eurocode norms.

KEYWORDS: annual maximum, operation time, similar constructions, statistical modeling, probability factor.

Статистическое моделирование работы несущих конструкций сооружения предполагает пошаговое с интервалом 5-10 минут количественное описание параметров нагрузок, параметров самой конструкции и взаимодействия этих параметров за расчетное время эксплуатации сооружения от нескольких десятков до нескольких сот лет. На начальном этапе моделирования составляется алгоритм расчета сооружения в детерминированных оценках и выполняется статистическое моделирование нагрузок, в частности ветровой нагрузки. В работе [5] получены параметры статистического моделирования ветровой нагрузки путем преобразования асимптотических распределений, предложенных в работе [4], в усеченные распределения с подбором временного шага изменения нагрузки. Полученные параметры моделирования протестированы путем сравнения с данными метеонаблюдений. Предложенное в работе [5] статистическое моделирование ветровой нагрузки отражает ряд процессов, в частности, влияние на максимальные реализации скорости ветра расчетной продолжительности эксплуатации и количества однотипных сооружений, построенных на данной местности. Опыт наблюдений за разрушениями после ураганов [6] показывает, что часть однотипных сооружений разрушается, в то время как другая часть не получает повреждений. Эти наблюдения свидетельствуют, что скорость ветра в потоке урагана изменяется в зависимости от различных факторов случайным образом и при большом числе случайно расположенных однотипных сооружений вероятность действия максимальной силы ветра на одно из сооружений возрастает.

В данной работе количественно анализируются и сравниваются с европейскими нормами результаты статистического моделирования, отражающие влияние продолжительности эксплуатации на максимальные реализации скорости ветра и обсуждаются новые результаты,

отражающие влияние количества однотипных сооружений, построенных на данной местности. Для решения поставленной задачи выполнено моделирование ветрового потока с дальнейшим определением максимальных и среднеарифметических значений из множества значений годовых максимумов скорости ветра для различного количества однотипных сооружений N и продолжительности расчетного времени эксплуатации T .

В Строительных нормах РФ влияние расчетного срока эксплуатации T и количества однотипных возводимых сооружений N на требуемые параметры надежности косвенно учитывается коэффициентом надежности и ответственности [2, 4]. Влияние количества однотипных сооружений, эксплуатирующихся на данной местности, в нормах СССР учитывалось в типовом проектировании, которое выполнялось в несколько этапов с испытаниями и анализом головных образцов.

В европейских нормах Eurocode [8] влияние срока эксплуатации T на расчетное значение ветровой нагрузки учитывается специальным коэффициентом C_{prob} , основанным на втором предельном распределении Гумбеля:

$$U_{m,10}(T) = U_{m,10}(T_b) \cdot C_{prob} \quad (1)$$

$$C_{prob} = \left(\frac{1 - K \ln[-\ln(1 - 1/T)]}{1 - K \ln[-\ln(1 - 1/T_b)]} \right)^n \quad (2)$$

где $U_{m,10}(T)$ – расчетная скорость ветра на отметке 10 м за период (T) ; $U_{m,10}(T_b)$ – расчетная скорость ветра на отметке 10 м за базовый период $(T_b = 50 \text{ лет})$; параметры n и K соответственно равны 0.5 и 0.2.

На первом этапе выполнено моделирование скорости ветра с определением годовых максимумов для каждого из 10 однотипных сооружений, а затем определено среднее арифметическое и максимальное значение. В таблицах 1-3 и на рисунках 1, 2 представлены результаты трёх моделирований с расчетным временем эксплуатации от 10 до 200 лет. При сравнении значений таблиц 1-3 взаимное отклонение результатов не превышало 3,6 %.

На следующем этапе выполнено сравнение предлагаемого европейскими нормами Eurocode [8] специального коэффициента C_{prob} , учитывающего влияние срока эксплуатации T на расчетное значение ветровой нагрузки с результатами статистического моделирования. Для этого с использованием приведенных в таблицах 1-3 результатов определены отношения годовых максимумов скоростей ветра заданного периода моделирования – U_T к базовому периоду в 50 лет – U_{50} ,

$$C_{prob}^T(\text{по} \cdot \text{максимальному}) = U_T^{\text{макс}} / U_{50}^{\text{макс}} \text{ – для максимальных значений}$$

$$C_{prob}^T(\text{по} \cdot \text{сред} \cdot \text{ариф}) = U_T^{\text{сред}} / U_{50}^{\text{сред}} \text{ – для среднеарифметических значений.}$$

Результаты сравнения приведены в таблице 4 и на рисунке 3.

Таблица 1

Первое моделирование. Годовые максимумы скоростей ветра (м/с)

Номер сооружения	Годовые максимумы скоростей ветра при различных значениях расчетного времени эксплуатации (лет)					
	$(T)=10$	$(T)=20$	$(T)=30$	$(T_b)=50$	$(T)=100$	$(T)=200$
1	26.444	26.683	27.064	27.064	30.736	30.736
2	26.652	26.652	26.817	27.958	28.75	31.749
3	23.367	27.823	27.823	27.823	30.358	30.358
4	25.563	25.563	26.479	27.907	28.86	30.168
5	24.716	24.716	25.352	26.256	27.228	28.666
6	27.401	27.401	28.612	28.612	28.952	29.01
7	27.275	28.58	28.58	29.311	29.311	30.07
8	24.541	27.17	27.17	28.299	28.299	28.667
9	28.238	29.357	29.357	29.357	29.357	29.357
10	22.984	28.025	28.025	28.025	28.835	30.123
Среднее арифметическое	25.72	27.19	27.53	28.07	29.07	29.89
Максимальное	27.401	29.357	29.357	29.357	30.736	31.749

Таблица 2

Второе моделирование. Годовые максимумы скоростей ветра (м/с)

Номер сооружения	Годовые максимумы скоростей ветра при различных значениях расчетного времени эксплуатации (лет)					
	(T)=10	(T)=20	(T)=30	(T _b)=50	(T)=100	(T)=200
1	25.246	26.468	26.468	26.468	26.468	29.325
2	25.559	25.999	25.999	26.067	27.417	28.703
3	27.154	27.154	27.154	29.365	29.365	29.365
4	23.545	27.445	30.502	30.502	30.502	30.502
5	23.85	26.015	28.606	28.606	30.273	30.273
6	27.581	27.789	27.789	27.789	29.232	30.134
7	27.372	27.372	27.372	27.372	27.372	29.917
8	26.786	26.786	27.535	27.712	29.216	29.465
9	24.736	24.736	25.352	26.256	27.228	28.666
10	24.24	27.713	27.713	27.713	27.713	28.018
Среднее арифметическое	25.6	26.75	27.37	27.785	28.48	29.44
Максимальное	27.581	27.713	30.502	30.502	30.502	30.502

Таблица 3

Третье моделирование. Годовые максимумы скоростей ветра (м/с)

Номер сооружения	Годовые максимумы скоростей ветра при различных значениях расчетного времени эксплуатации (лет)					
	(T)=10	(T)=20	(T)=30	(T _b)=50	(T)=100	(T)=200
1	26.56	26.56	26.56	26.56	29.217	29.217
2	26.701	26.701	28.586	30.719	30.719	30.719
3	29.148	29.148	31.437	31.437	32.541	32.541
4	25.253	25.253	25.929	27.033	28.508	28.836
5	23.71	27.754	27.754	27.754	30.293	30.293
6	28.395	29.099	29.099	29.099	29.94	29.94
7	23.235	26.819	26.95	31.783	31.783	31.783
8	25.414	25.414	27.466	28.248	31.618	31.618
9	26.457	27.836	27.836	27.836	27.946	27.961
10	25.15	26.464	27.243	28.322	28.445	28.886
Среднее арифметическое	26.03	27.1	27.88	28.98	30.1	30.51
Максимальное	29.148	29.148	31.437	31.783	32.541	32.541

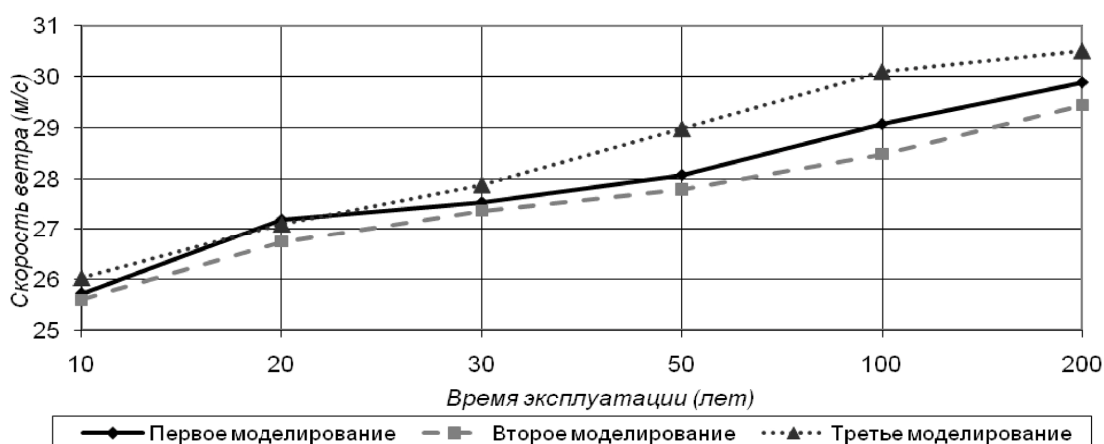


Рис. 1. Среднеарифметические реализации годовых максимумов скорости ветра по результатам трех моделирований для 10 сооружений

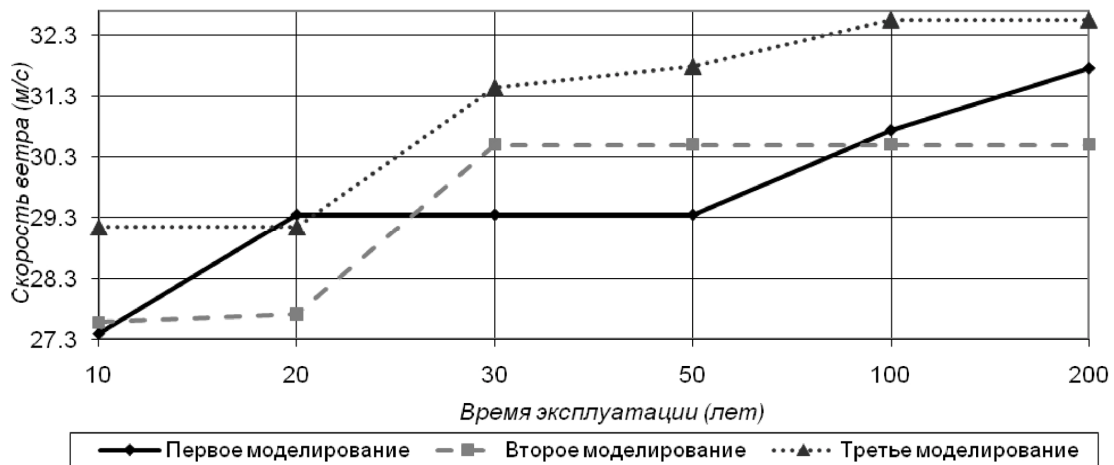


Рис. 2. Максимальные реализации годовых максимумов скорости ветра по результатам трех моделирований для 10 сооружений

Таблица 4

Коэффициенты вероятности C_{prob}^T найденные по результатам трёх моделирований

Номер моделирования		Время эксплуатации (лет)					
		(T)=10	(T)=20	(T)=30	(T _b)=50	(T)=100	(T)=200
1	C_{prob}^T (по сред. ариф.)	0.916	0.968	0.981	1	1.035	1.065
	C_{prob}^T (по максимальному)	0.933	1	1	1	1.047	1.081
2	C_{prob}^T (по сред. ариф.)	0.921	0.962	0.985	1	1.025	1.060
	C_{prob}^T (по максимальному)	0.904	0.908	1	1	1	1
3	C_{prob}^T (по сред. ариф.)	0.898	0.935	0.962	1	1.038	1.053
	C_{prob}^T (по максимальному)	0.917	0.917	0.989	1	1.023	1.023
Нормы Eurocode	C_{prob}	0.902	0.946	0.97	1	1.038	1.075

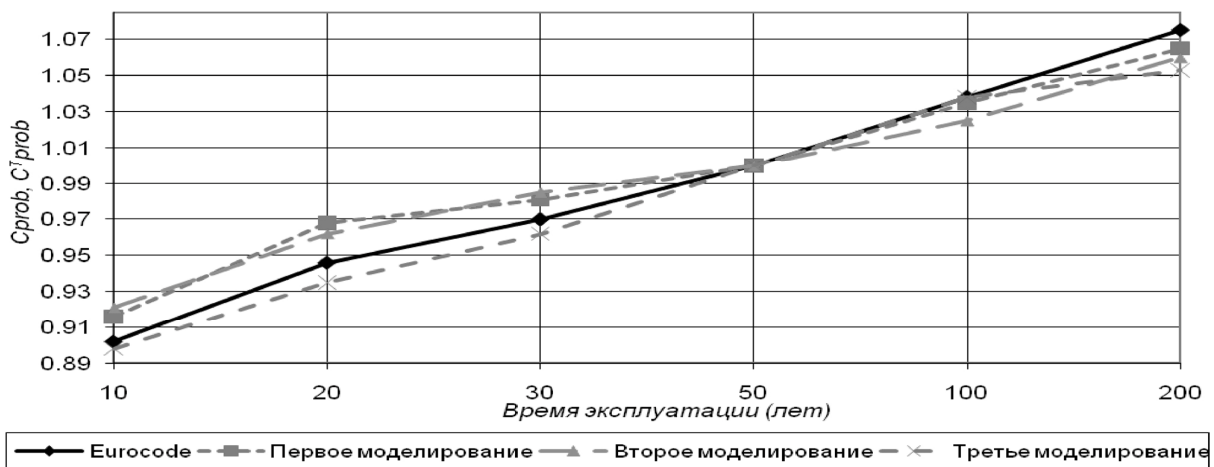


Рис. 3. Коэффициент C_{prob} по нормам Eurocode и C_{prob}^T по результатам средних арифметических значений трёх моделирований

По результатам сравнения видно, что значения коэффициента C_{prob} по нормам Eurocode [8] лучше согласуются с коэффициентами, полученными с использованием средних

арифметических значений годовых максимумов, и хуже – с коэффициентами, полученными с использованием максимальных значений годовых максимумов. По сути коэффициент C_{prob} в нормах [8] есть ни что иное, как среднее увеличение или уменьшение расчетной скорости ветра относительно базового времени 50 лет.

Таблица 5

Средние арифметические, максимальные значения годовых максимумов скорости ветра (м/с) и коэффициенты C_{prob}^T для 20 сооружений

Время эксплуатации (лет)		(T)=10	(T)=20	(T)=30	(T _b)=50	(T)=100	(T)=200
Статистическое моделирование для 20 сооружений	Средние арифметические	25.66	26.97	27.45	27.93	28.77	29.66
	Максимальные	27.58	29.36	30.5	30.5	30.7	31.75
	C_{prob}^T (по сред. ариф.)	0.918	0.965	0.983	1	1.031	1.062
	C_{prob}^T (по максимальному)	0.904	0.962	1	1	1.007	1.041
Нормы Eurocode	C_{prob}	0.902	0.946	0.97	1	1.038	1.075

Таблица 6

Средние арифметические, максимальные значения годовых максимумов скорости ветра (м/с) и коэффициенты C_{prob}^T для 30 сооружений

Время эксплуатации (лет)		(T)=10	(T)=20	(T)=30	(T _b)=50	(T)=100	(T)=200
Статистическое моделирование для 30 сооружений	Средние арифметические	25.78	27.01	27.59	28.28	29.21	29.83
	Максимальные	29.14	29.36	31.44	31.78	32.54	32.54
	C_{prob}^T (по сред. ариф.)	0.911	0.955	0.976	1	1.02	1.055
	C_{prob}^T (по максимальному)	0.917	0.923	0.989	1	1.023	1.023
Нормы Eurocode	C_{prob}	0.902	0.946	0.97	1	1.038	1.075

Таблица 7

Средние арифметические, максимальные значения годовых максимумов скорости ветра (м/с) и коэффициенты C_{prob}^T для 50 сооружений

Время эксплуатации (лет)		(T)=10	(T)=20	(T)=30	(T _b)=50	(T)=100	(T)=200
Статистическое моделирование для 50 сооружений	Средние арифметические	25.53	26.74	27.36	28.12	29.07	29.89
	Максимальные	29.35	29.41	31.43	31.78	32.54	32.69
	C_{prob}^T (по сред. ариф.)	0.908	0.951	0.973	1	1.034	1.063
	C_{prob}^T (по максимальному)	0.923	0.925	0.989	1	1.023	1.029
Нормы Eurocode	C_{prob}	0.902	0.946	0.97	1	1.038	1.075

Для анализа влияния количества однотипных сооружений и сравнения результатов с нормами [8] выполнено статистическое моделирование годовых максимумов значений скорости ветра для количества однотипных сооружений 20, 30, 50. Результаты моделирования представлены в таблицах 5-7 и на рисунках 5, 6.

Результаты сравнения показали, что значения коэффициента C_{prob} по нормам Eurocode хорошо коррелируют с коэффициентами, полученными с использованием средних арифметических значений годовых максимумов скорости ветра для 50 сооружений (рис. 4).

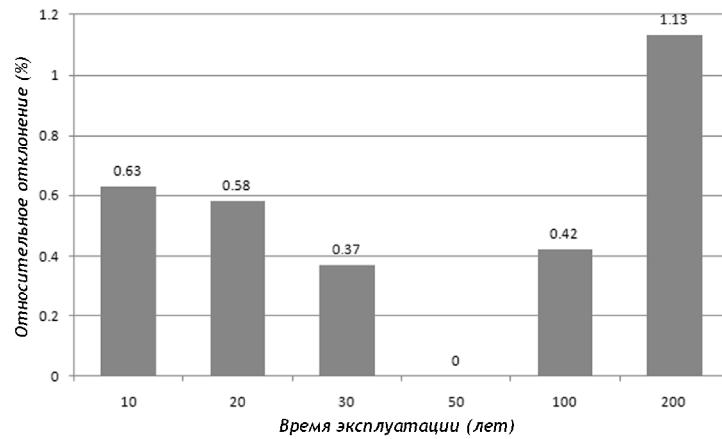


Рис. 4. Относительное отклонение коэффициента C^T_{prob} от нормативного значения по Eurocode при моделировании годовых максимумов для 50 сооружений

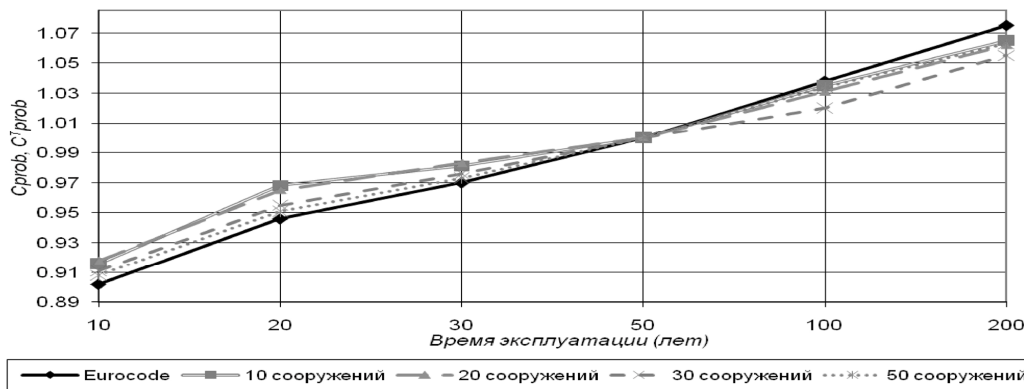


Рис. 5. Коэффициент C^T_{prob} средних арифметических значений годовых максимумов скоростей ветра при различных периодах моделирования и количества сооружений

Значения C^T_{prob} , полученные методом статистического моделирования среднеарифметических значений годовых максимумов, лучше согласуются с коэффициентом C_{prob} Eurocode [8] при увеличении числа сооружений. Так, при увеличении числа сооружений от 10 до 50 относительное отклонение коэффициентов, учитывающих продолжительность эксплуатации, уменьшилось от значения 8,60 % до 1,16 %.

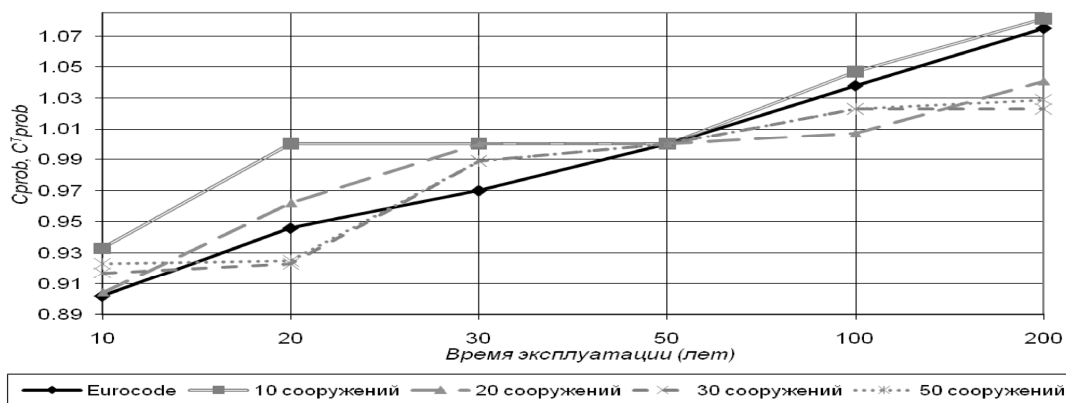


Рис. 6. Коэффициент C_{prob} максимальных значений годовых максимумов скоростей ветра при различных периодах моделирования и количества сооружений

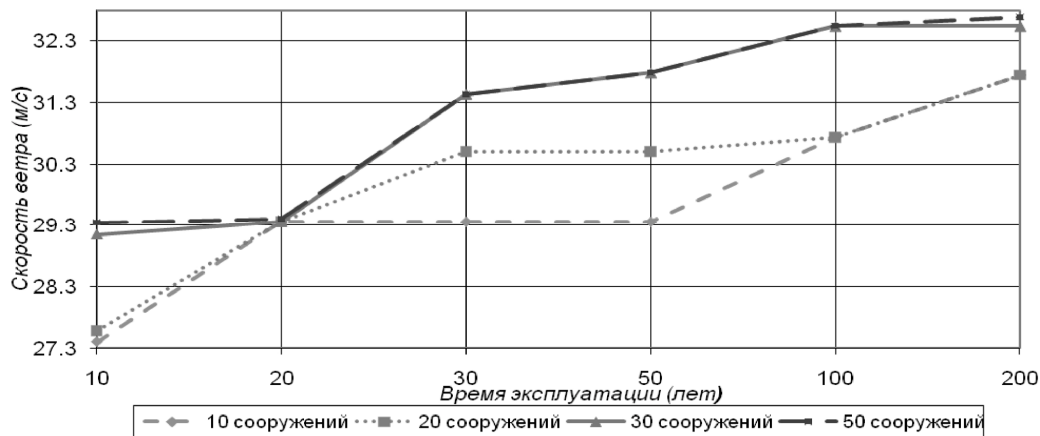


Рис. 7. Максимальные значения скоростей ветра годовых максимумов при различных периодах моделирования и количества сооружений

При увеличении числа сооружений, как и ожидалось (таблицы 5, 6, 7 и рис. 7), произошло увеличение максимальных значений годовых максимумов скорости ветра.

Статистическое моделирование дает возможность численно распознать неоднородность воздушного потока в зависимости от количества сооружений, случайно рассредоточенных в рассматриваемом ветровом районе. В таблице 8 отражено относительное изменение максимальных значений годовых максимумов скорости ветра в зависимости от количества однотипных сооружений. При этом максимальное значение годовых максимумов скорости ветра для 10 сооружений принято за 1000. Аппроксимацией численных результатов, приведенных в таблице 8, получен коэффициент K_N (3), показывающий увеличение значений скорости ветра при изменении количества сооружений относительно базового числа – 10 сооружений.

Таблица 8

Количество однотипных сооружений	Время эксплуатации (лет)						Средний коэффициент
	(T)=10	(T)=20	(T)=30	(T _b)=50	(T)=100	(T)=200	
10 сооружений	1	1	1	1	1	1	1
20 сооружений	1.006	1	1.039	1.039	1	1	1.014
30 сооружений	1.06	1	1.071	1.071	1.058	1.021	1.047
50 сооружений	1.07	1.012	1.071	1.083	1.058	1.029	1.054
100 сооружений	1.11	1.037	1.09	1.09	1.082	1.061	1.068

$$K_N = 1.0693 / (1 + 0.112 * \exp(-0.0445 * N)) + 0.002, \tag{3}$$

$$V_N = K_N \cdot V_{10}, \tag{4}$$

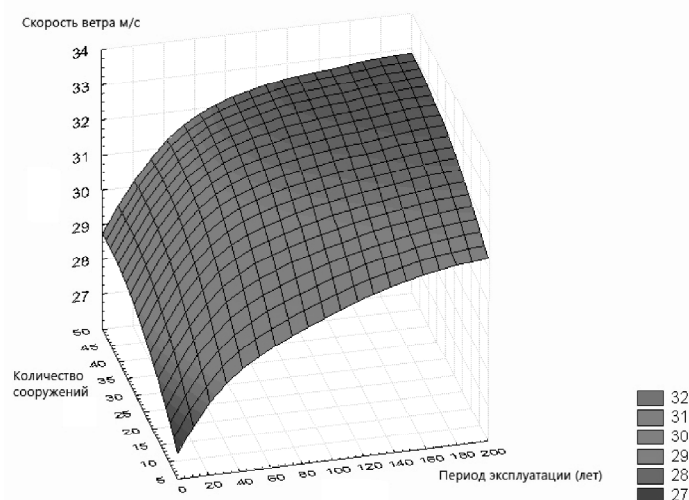
где N – количество однотипных сооружений, аппроксимация производилась методом наименьших квадратов, с дисперсией не более 0.015.

В таблице 9 и на рисунке 8 в трехмерной интерпретации приведены обобщенные результаты статистического моделирования максимальных значений годовых максимумов для расчетного времени эксплуатации до 200 лет и количества сооружений до 50.

Таблица 9

Максимальные значения годовых максимумов скорости ветра (м/с) в зависимости от количества сооружений и периода эксплуатации

Количество однотипных сооружений	Время эксплуатации (лет)					
	(T)=10	(T)=20	(T)=30	(T _b)=50	(T)=100	(T)=200
10 сооружений	27.40	29.36	29.36	29.36	30.74	31.75
20 сооружений	27.58	29.36	30.5	30.5	30.74	31.75
30 сооружений	29.14	29.36	31.44	31.78	32.54	32.54
50 сооружений	29.35	29.41	31.44	31.78	32.54	32.69

Рис. 8. Реализации скоростей ветра в зависимости от N и T

Выводы

Анализ результатов статистического моделирования с использованием алгоритмов, предложенных в работе [5], и их сравнение с данными европейских норм показали, что влияние длительности эксплуатации T хорошо согласуется с коэффициентом C_{prob} Eurocode (1), (2). Для учета влияния количества однотипных сооружений N рекомендуется использовать полученную в данной работе зависимость (3), (4). Предложенная авторами статьи методика статистического моделирования скорости ветра в комплексной форме выражает его зависимость от длительности эксплуатации и количества однотипных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и её инженерное приложение. – М.: Высшая школа, 2000. – 450 с.
2. ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту. – М., 1999. – 6 с.
3. Манапов А.З. Расчет надежности и ресурса строительных конструкций методом статистического моделирования. – Казань: КГАСУ, 2010. – 132 с.
4. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 2003. – 36 с.
5. Манапов А.З., Зиннуров Т.А. Алгоритмы метода Монте-Карло для моделирования ветровой нагрузки на сооружения // Известия КГАСУ, 2010, № 1 (13). – С. 147-155.
6. Манапов А.З., Хусаинов Д.М., Козлов М.В. О силе и последствиях урагана 8 июля 2007 года // Известия КГАСУ, 2008, № 1 (9). – С. 76-83.
7. Пичугин С.Ф. Вероятностный анализ ветровой нагрузки // Известия вузов. Строительство, 1997, № 12. – С. 13-20.
8. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Brussels, Belgium CEN, 2001. – 148 p.

REFERENCES

1. Vencel E.S., Ovcharov L.A. Probability theory and engineering application. – M.: Publishers High School, 2000. – 450 p.
2. GOST 27751-88 Reliability of building constructions and foundation bed. Fundamentals of calculation – M., 1999. – 6 p.
3. Manapov A.Z. Reliability resource – Kazan: KSUAE, 2010. – 132 p.
4. SNiP 2.01.07-85 Loadings and influences / Gosstroi USSR. – M.: CITP Gosstroi, 2003. – 36 p.
5. Manapov A.Z., Zinnurov T.A. Algorithm of Monte-Karlo method in wind action simulation on structure. KSUAE news, 2010, № 1 (13). – P. 147-155.
6. Manapov A.Z., Husainov D.M., Kozlov M.V. About force and consequences of the hurricane en 8 July 2007. KSUAE news, 2010, № 1 (9). – P. 76-83.
7. Pichugin S.F. Wind loading probabilistic analysis. – News of universities. Building, 1997, № 12. – P. 13-20.
8. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Brussels, Belgium CEN, 2001. – 148 p.