

- играют значительную роль при создании экологически и психологически комфортной среды для горожан и вносят композиционное разнообразие в планировочную структуру.
2. В нормативно-правовой базе Беларуси используются такие понятия как «прибрежная полоса» и «водоохранная зона», которые имеют жесткие регламенты и рассматриваются в основном как ресурсы для выполнения защитной функции в отношении водных объектов. В силу уникального расположения в городе и полифункциональности, территории, прилегающие к реке, необходимо рассматривать шире.
  3. Анализ прибрежной полосы и водоохранной зоны рек Мухавец и Западный Буг в Бресте позволил установить большое разнообразие функциональных зон: около 36% приходится на озеленённые территории и порядка 64% на прочие, которые условно можно объединить в блоки – соответствующие и не соответствующие регламентам использования прибрежной полосы и водоохранной зоны.
  4. Учитывая особенности территорий, прилегающих к реке, автором было установлено, что определение «приречная территория» более соответствует комплексному понятию территорий, прилегающих к реке.
  5. Определить границы приречной территории позволяет аналитический способ, при котором границами приречной территории являются: по длине – граница городской территории; по ширине – со стороны реки – береговая линия, со стороны города – существующие планировочные ограничения.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Краснощекова, Н. С. Формирование природного каркаса в генеральных планах городов: учебное пособие для вузов / Н. С. Краснощекова. – Москва : Архитектура-С, 2010. – 184 с.
2. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kodeksy.by/static/vodnyy-kodeks.pdf>. – Дата доступа: 07.12.2016.
3. История города Брест | Историческая справка Брест. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.vb.by/help/about\\_brest/brest\\_history.html](http://www.vb.by/help/about_brest/brest_history.html). – Дата доступа: 06.01.2016.
4. Литвинов, Д. В. Градозоологические принципы развития прибрежных зон (на примере крупных городов Поволжья) : дис. ... канд. архитектуры / Д. В. Литвинов. – Самара, 2009. – 166 с.
5. Афанасьева, Э. П. Особенности развития туризма в прибрежных зонах Калининградской области, Псковский регионологический журнал № 18, 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://lzd.pskgu.ru/projects/pgu/storage/prj/prj\\_18/prj\\_18\\_07.pdf](http://lzd.pskgu.ru/projects/pgu/storage/prj/prj_18/prj_18_07.pdf). – Дата доступа: 16.04.2016.
6. The Situation in Europe's Coastal Zones. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://europa.eu.int/comm/environment/iczm/situation.htm>. – Дата доступа: 16.04.2016.
7. Столовой, А. В. Проблемы развития прибрежных территорий крупных и крупнейших городов, Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов" № 97 (2011): Серия: Технические науки та архитектура. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/995/989>. – Дата доступа: 21.07.2016.
8. Садковская, О. Е. Архитектурно-планировочная организация ландшафтов зарегулированных рек малых и средних городов юга России / О. Е. Садковская // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Политематическая сер. 2010. Вып. 1 (10). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Sadkovskaya-2010\\_1\(10\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Sadkovskaya-2010_1(10).pdf). – Дата доступа: 04.01.2017.
9. Ань, Ха Дуи Направления преобразования и развития приречных территорий города Ханоя (Вьетнам) : автореф. дис. ... канд. архитектуры / Ха Дуи Ань. – СПб., 2013. – 24 с.
10. Федосеева, О. С. Ландшафтный анализ приречных территорий : автореф. дис. ... канд. архитектуры / О. С. Федосеева. – Москва, 2013. – 20 с.
11. Оселко, Н. Э. Планировочное развитие приречной территории крупнейшего столичного города : автореф. дис. ... канд. архитектуры / Н. Э. Оселко. – Москва, 2001. – 23 с.
12. Маташова, М. А. Эколого-градостроительная оптимизация приречных территорий крупного города (на примере г. Хабаровска) : автореф. дис. ... канд. Архитектуры / М. А. Маташова. – СПб., 2011. – 22 с.

Материал поступил в редакцию 25.01.2017

#### MARTYSYUK N.A. Aspects of formation of the urban areas adjacent to the river

At present territories that adjoin a river take an important part in the urbanized structure of the city. They comprise a great part of the greenery areas; they play a significant part in the creation of the comfortable environment for citizens in the ecological and psychological way; they also bring composition variety to the planning structure. The article reveals specific characteristics of the riverside and water protection zone of the Mukhavets and the Western Bug rivers. The author presents the rationale use of the definition of "streamside territory" regarding the areas that adjoin a river. Proposals on delimitation of the streamside territory in the city are made.

УДК 624.046.5:624.042.41

Тур В.В., Надольский В.В., Черноиван А.В.

## ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Введение.** Современный уровень развития науки в строительной области дает возможность проектировать конструкции с заданными параметрами надежности. Эта возможность реализуется посредством вероятностных методов расчета, позволяющих принимать оптимальные решения как с позиции надежности, так и с позиции экономических затрат. Входными параметрами для вероятност-

ного расчета являются данные о базисные переменные, причем точность и адекватность вероятностной модели базисной переменной оказывает доминирующее влияние на результаты расчетов. Базисными переменными принято называть неопределенные параметры расчетных моделей и погрешности этих моделей. Условно базисные переменные разделяют на относящиеся к модели сопротивления и

**Тур Виктор Владимирович**, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологий бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

**Черноиван Анна Вячеславовна**, к.т.н., старший преподаватель кафедры экономики и организации строительства Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

**Надольский Виталлий Валерьевич**, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Металлические и деревянные конструкции» Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220027, г. Минск, пр. Независимости, 65.

модели эффекта воздействия.

Вопросам изучения вероятностной природы воздействий систематически уделяется большое внимание. «В силу большого разнообразия временных нагрузок их изучение было, остается и, видимо, всегда будет считаться актуальной задачей. Следует отметить, что несмотря на большие достижения в области строительной механики, статистические характеристики большей части временных нагрузок остаются пока неизученными» [1, с. 110].

Вероятностные модели базисных переменных, принятые в различных исследованиях, зачастую отличаются друг от друга. Исследования надежности, основанные на разных вероятностных моделях, могут привести к несопоставимым результатам. «Используя откалиброванные значения надежности, необходимо помнить, что они относятся к специфическому набору конструктивных и вероятностных моделей. Использование откалиброванных величин совместно с другими моделями может привести к непреднамеренному высокому или низкому уровням надежности» [2, Е.4.3]. Поэтому формирование единых подходов к назначению вероятностных моделей базисных переменных является важной задачей.

Для вероятностного описания базисной переменной необходимо установить закон распределения и статистические параметры. Исследование вероятностной природы базисных переменных, как правило, включает уточнение (корректировку) рассматриваемых параметров на основе экспериментальных данных. Статистические параметры базисных переменных могут изменяться по ряду причин, что требует систематических и целенаправленных исследований.

В статье представлены статистические параметры ветрового воздействия с учетом климатических условий Республики Беларусь. Вероятностная модель ветрового воздействия разработана на основании рекомендаций JCSS Probabilistic Model Code [3] применительно к модели, регламентированной в ТКП EN 1991-1-4 [4].

**Общие подходы к вероятностному моделированию ветрового воздействия.** Обобщенная модель ветрового воздействия, применяемая при расчетах конструкций, нечувствительных к динамическим эффектам, может быть принята на основании рекомендаций JCSS [3] в виде:

$$w = c_p \cdot c_g(z) \cdot c_r(z)^2 \cdot q_b, \quad (1)$$

где  $c_p$  – аэродинамический коэффициент;

$c_g = 1 + 7I_v(z)$  – коэффициент порывистости, зависящий от интенсивности турбулентности  $I_v$ ;

$c_r$  – коэффициент, учитывающий тип местности;

$q_b$  – базовое значение скоростного напора ветра, определяемое по формуле:

$$q_b = 1/2 \rho \cdot v_b^2 \quad (2)$$

здесь  $\rho$  – плотность воздуха, при стандартных условиях равная 1,25 кг/м<sup>3</sup>;

$v_b$  – базовое значение скорости ветра.

Для вероятностного описания ветрового воздействия необходимо установить закон распределения и статистические параметры базисных переменных, входящих в модель.

Неопределенность (изменчивость) ветрового воздействия обусловлена:

- случайной природой ветрового воздействия, климатическими изменениями, порывистостью, турбулентностью ветра и т. д.;
- средствами и методами измерений, выполняемых на метеостанциях и постах;
- ограниченностью выборки эмпирических данных о параметрах ветрового воздействия, в первую очередь о скоростях ветра;
- пониманием ветрового воздействия и упрощениями модели, используемой для описания ветрового воздействия. Совершенствование и унификация знаний о воздействии ветра приводят к снижению уровня данной неопределенности.

Вероятностные методы расчета конструкций, подверженных воздействию ветровой нагрузки, базируются на стохастическом описании отдельных параметров, используемых в расчетной модели

ветрового воздействия. Основной неопределенностью зачастую обладают скорость ветра и коэффициент ветрового давления или силы. Базируясь на данном утверждении, в настоящей статье рассмотрены статистические параметры базовых значений скорости  $v_b$  и скоростного напора ветра  $q_b$  [4].

**Эмпирические данные.** Базовое значение скорости ветра  $v_b$  является случайной величиной, обладающей значительной изменчивостью; вместе с этим данная величина сильно автокоррелирована. Однако переход на восьмисрочные наблюдения, проводимые на метеорологических станциях и постах через каждые три часа, позволяет относить рассматриваемые процессы к статистически независимым для большинства практических задач. Результаты систематических измерений годовых максимумов средних значений скорости ветра на 46 метеорологических станциях и постах за период 1966–2013 гг., официально предоставленные ГУ «Республиканский Гидрометеорологический центр», приведены на рисунке.

Вместе с тем, базовое значение скорости ветра является функцией основного значения базовой скорости ветра  $v_{b,0}$ , численно равного средней скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли для открытого типа местности с низкой растительностью (например, такой как трава) и изолированными отдельно стоящими преградами, расстояние между которыми составляет как минимум 20 их высот, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения независимо от времени года и направления ветра [4].

Так как на метеостанциях зачастую не в полной мере выполняются условия, позволяющие точно зафиксировать основные значения базовой скорости ветра  $v_{b,0}$ , для получения достоверной информации о ветровых климатических условиях Республики Беларусь, а также выполнения корректного сравнительного анализа полученных результатов на всех станциях и постах РБ, используемые в расчетах параметры ветра были приведены к однородному микрометеорологическому ряду. Ряд данных о скоростях ветра принято называть микрометеорологически однородным, если все относящиеся к нему результаты наблюдений можно рассматривать как полученные в одинаковых или эквивалентных микрометеорологических условиях. Эти условия определяются следующими факторами [5]:

- высотой установки ветроприемника над поверхностью земли;
- фактической шероховатостью поверхности окружающей местности;
- временем осреднения скорости ветра;
- сроками и количеством наблюдений в сутки;
- изменением конструкции ветроизмерительных приборов.

С учетом перечисленных основных параметров однородного микрометеорологического ряда и анализа проведения наблюдений за основными характеристиками ветра на метеостанциях и постах Беларуси, можно сделать вывод, что к основным факторам, требующим корректировки, следует отнести высоту установки ветроприемника, шероховатость подстилающей местности и тип используемых ветроизмерительных приборов. Принимая за базовый показатель значение скорости на высоте 10 м от поверхности земли для II типа местности, характеризующегося открытой местностью с низкой растительностью, для приведения параметров ветра к однородному микрометеорологическому ряду был использован коэффициент  $c_r(z)$ , определяющий изменчивость средней скорости ветра в зависимости от высоты над уровнем земли и шероховатости местности [4]:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \quad \text{при } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}; \quad (3)$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z_{\min}) \quad \text{при } z \leq z_{\min}, \quad (4)$$

где  $k_r$  – коэффициент местности, вычисляемый по формуле:

$$k_r = 0,19 \left( z_0 / z_{0,II} \right)^{0,07} \quad (5)$$

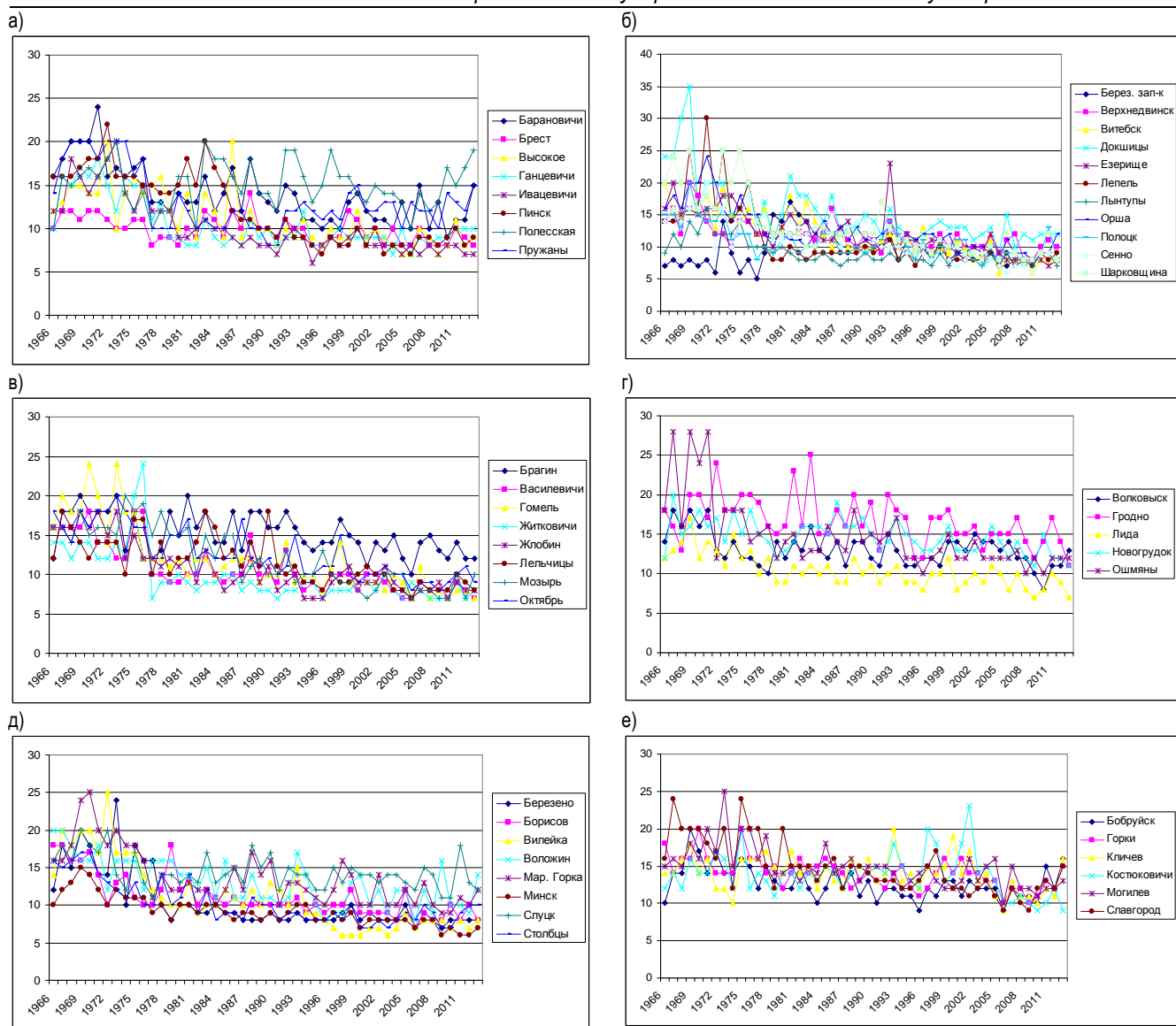
здесь  $z_0$  – параметр шероховатости, м [4, табл. 4.1];

$z_{0,II} = 0,05$  м для II типа местности;

$z$  – высота над уровнем земли, м;

$z_{\min}$  – минимальная высота, определяемая по [4, табл. 4.1], м;

$z_{\max} = 200$  м.



а – Брестская область; б – Витебская область; в – Гомельская область; г – Гродненская область; д – Минская область; е – Могилевская область

**Рисунок 1** – Результаты систематических измерений годовых максимумов средних значений скорости ветра (м/с), зафиксированные на метеостанциях Республики Беларусь

Корректировка данных, зафиксированных с помощью флюгера Вильда с 2-минутным осреднением до начала применения на территории РБ анеморумбометров с 10-минутным осреднением типов М-63М-1 и Пеленг СФ-03, выполнялась с учетом результатов исследований климатологами Центральной геофизической обсерватории Украины [6]. В результате данных изысканий было установлено, что при скоростях менее 7 м/с, изменение типа прибора на однородность микрометеорологических рядов почти не повлияло, однако при скоростях ветра, превышающих 10 м/с, флюгер давал завышенные значения скорости примерно на 12%. Таким образом, зафиксированные с помощью флюгера значения скорости ветра, превышающие 10 м/с, быть скорректированы с использованием понижающего коэффициента 0,88.

**Закон распределения основного значения базовой скорости ветра.** Закон распределения назначается на основании экспериментальных данных. Однако эти данные часто недоступны или ограничены, что не позволяет получить достоверные результаты, поэтому при выборе закона распределения дополнительно используют теоретические предположения. Общие рекомендации по назначению законов распределения нормативно закреплены в документах [2, 7]. Следует отметить, что существует общая проблема использования в

теории надежности любого из законов распределения случайных величин в области весьма малых значений вероятностей (на т. н. «хвостах» распределений, где, как правило, отсутствуют эмпирические данные) и назначения закона распределения приобретает скорее общую договоренность, позволяющую обеспечивать воспроизводимость и сопоставимость результатов. Так как теоретическое распределение существенно отклоняется от опытных данных на «хвостах» распределений, для климатических воздействий данное несоответствие может быть устранено посредством оценивания распределения не по всей выборке, а по «хвостовой» области эмпирических данных [8]. Такое статистическое оценивание позволяет существенно повысить адекватность получаемых результатов при нормировании характеристических значений переменных воздействий, соответствующих квантилю 0,98 [7]. Однако в силу отсутствия эмпирических данных, дальнейшая экстраполяция распределения в «хвостовой» части, выполняемая при определении расчетных значений, соответствующих квантилям порядка 0,999 и выше, содержит существенные неопределенности.

Для малых периодов времени вероятностное моделирование скорости ветра, как правило, выполняют с использованием распре-

деления Вейбулла с масштабным параметром  $k \approx 2$  [3]. Для больших периодов времени, месячных (для определения сопутствующего воздействия в сочетаниях) и годовых (для определения доминирующего воздействия в сочетаниях) максимумов, скорость ветра хорошо описывается двойным экспоненциальным распределением Гумбеля. При преобразовании базовой скорости ветра на высоте 10 м к скорости на необходимой высоте над уровнем земли вероятностная модель не изменяется.

**Статистические параметры основного значения базовой скорости ветра.** Результаты статистического оценивания измерений годовых и месячных максимумов базовой скорости ветра, зафиксированные на метеорологических станциях и постах Республики Беларусь (см. рис.) и приведенных к однородному микрометеорологическому ряду, представлены в таблице 1.

Для создания полной вероятностной модели ветрового воздействия необходимо оценить либо абсолютные значения статистических параметров, либо, что является более предпочтительным, отношения основных параметров функции распределения с характеристическим значением базисной переменной  $X_k$ , используемым при проектировании. Данное представление позволяет вычислять показатели надежности в безразмерных величинах. Учитывается, что характеристическое значение базовой скорости ветра соответствует квантилю 0,98 распределения Гумбеля, отношение среднего  $\mu_{v,z}$  к характеристическому значению  $X_k$  зависит только от коэффициента вариации  $V_{v,z}$  и может быть представлено в виде:

$$\mu_{v,z} / X_k \approx 1 / \left\{ 1 - V_{v,z} \cdot \left[ 0,45 + 0,78 \ln(-\ln(0,98)) \right] \right\} \quad (6)$$

**Статистические параметры скоростного напора.** Статистические параметры годовых и месячных максимумов скоростного напора

представлены в таблице 1. При вероятностном описании ветрового воздействия коэффициент вариации скоростного напора, как правило, предполагается равным удвоенному коэффициенту вариации скорости ветра [3]:

$$V_{q,z} = 2V_{v,z} \quad (7)$$

Альтернативно согласно [9] рекомендуется использовать следующую зависимость:

$$V_{q,z} = V_{v,z} \cdot \left( 4 - V_{v,z}^2 + 6V_{v,z} \cdot V_{v,z} \cdot \omega_v \right)^{0,5} / \left( 1 + V_{v,z}^2 \right) \quad (8)$$

где  $\omega_v$  – выборочный коэффициент асимметрии, принимаемый для распределения Гумбеля равным 1,14.

Анализ результатов статистического оценивания показывает, что данные рекомендации могут быть использованы в качестве нижней и верхней оценок фактического коэффициента вариации скоростного напора.

**Исключение показаний, зафиксированных с использованием флюгера.** В качестве дополнительного анализа с целью минимизации субъективизма наблюдателя и повышения однородности зафиксированных данных, для ряда метеостанций и постов, находящихся на границе Минской, Могилевской и Гомельской областей, были исключены результаты наблюдений, полученные с использованием флюгера Вильда с 2-минутным периодом осреднения (таблица 2). Так как время перехода от скалярного типа приборов к векторному на различных станциях отличается, для приведения к единому объему выборки были рассмотрены данные с 1977 г., когда по всем рассмотренным метеостанциям измерение показаний проводилось с использованием анеморумбометра.

**Статистические параметры для разных периодов отнесения.** Имеющиеся эмпирические данные наблюдений позволяют

Таблица 1 – Результаты статистического оценивания  $V_{b,0}$  [м/с] и  $q_b$  [Па]

Метеостанция	$\mu_{v,z}$	$V_{v,z}$	$\mu_{v,мес}$	$V_{v,мес}$	$\mu_{q,z}$	$V_{q,z}$	$\mu_{q,мес}$	$V_{q,мес}$	Метеостанция	$\mu_{v,z}$	$V_{v,z}$	$\mu_{v,мес}$	$V_{v,мес}$	$\mu_{q,z}$	$V_{q,z}$	$\mu_{q,мес}$	$V_{q,мес}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Барановичи	17,42	0,18	12,38	0,23	194,70	0,38	100,50	0,51	Кличев	17,85	0,17	12,62	0,24	203,75	0,35	105,29	0,51
Березинский заповедник	11,31	0,30	8,69	0,24	88,76	0,63	53,70	0,59	Костюковичи	16,77	0,21	12,46	0,21	185,73	0,44	103,20	0,46
Березено	12,48	0,32	8,70	0,29	108,60	0,75	52,56	0,72	Лельчицы	13,96	0,25	9,90	0,28	130,38	0,51	66,99	0,61
Бобруйск	15,81	0,16	11,37	0,21	158,60	0,32	84,55	0,44	Лепель	13,30	0,40	9,17	0,36	128,75	1,02	66,47	0,94
Борисов	11,98	0,21	9,41	0,20	93,98	0,45	56,16	0,47	Лида	13,94	0,20	10,53	0,24	124,45	0,41	72,33	0,49
Брагин	18,67	0,15	12,99	0,24	224,05	0,29	112,43	0,51	Лынтупы	11,42	0,16	8,72	0,21	84,04	0,34	49,77	0,45
Брест	12,25	0,15	8,98	0,22	97,03	0,30	53,24	0,45	Марьяна Горка	16,42	0,25	11,75	0,29	181,64	0,52	94,83	0,64
Василевичи	13,02	0,21	9,25	0,26	110,52	0,43	57,11	0,55	Минск	14,29	0,18	10,76	0,24	132,81	0,40	76,53	0,53
Верхнедвинск	14,33	0,17	10,39	0,21	131,69	0,36	71,09	0,46	Могилев	19,69	0,18	14,22	0,21	248,92	0,39	131,39	0,48
Вилейка	12,81	0,36	9,16	0,36	118,82	0,73	59,51	0,80	Мозырь	16,67	0,30	10,17	0,34	147,17	0,58	73,46	0,73
Витебск	14,75	0,30	10,83	0,33	150,15	0,59	82,25	0,69	Новогрудок	18,62	0,14	13,20	0,21	207,05	0,27	115,13	0,43
Волковыск	16,67	0,13	12,19	0,22	175,40	0,26	97,02	0,46	Октябрь	15,73	0,20	11,31	0,23	159,97	0,40	84,49	0,52
Воложин	16,33	0,20	11,58	0,24	172,41	0,34	88,89	0,52	Орша	15,67	0,20	11,74	0,21	158,62	0,46	91,07	0,46
Высокое	13,46	0,27	9,34	0,28	122,79	0,56	59,77	0,63	Ошмяны	17,92	0,26	12,63	0,25	214,73	0,60	106,91	0,60
Ганцевичи	13,44	0,22	9,30	0,22	103,32	0,46	57,04	0,49	Пинск	15,73	0,31	11,38	0,38	167,12	0,61	91,43	0,79
Гомель	15,21	0,33	11,15	0,32	158,36	0,70	85,71	0,75	Полесская	18,44	0,20	12,92	0,26	219,70	0,38	109,71	0,58
Горки	17,54	0,12	13,48	0,19	194,23	0,24	117,08	0,38	Полоцк	13,33	0,22	9,53	0,26	116,08	0,44	61,00	0,53
Гродно	21,17	0,16	14,67	0,25	286,62	0,36	141,95	0,54	Пружаны	16,38	0,20	11,92	0,25	174,90	0,39	94,19	0,54
Докшицы	18,94	0,25	13,06	0,27	237,67	0,59	113,70	0,64	Сенно	13,31	0,27	9,90	0,30	120,07	0,51	67,40	0,61
Езерище	14,58	0,26	10,62	0,26	142,50	0,56	76,41	0,57	Славгород	18,46	0,19	12,97	0,25	219,68	0,39	111,90	0,55
Житковичи	12,15	0,27	9,04	0,24	98,48	0,68	54,49	0,61	Слуцк	18,21	0,14	13,20	0,22	208,69	0,27	113,56	0,45
Жлобин	13,00	0,25	9,48	0,30	111,54	0,50	61,85	0,64	Столбцы	13,17	0,30	9,47	0,35	118,54	0,64	64,16	0,78
Ивацевичи	12,60	0,25	9,09	0,26	104,77	0,55	54,92	0,61	Шарковщина	15,77	0,33	11,46	0,34	172,94	0,72	91,23	0,75

здесь  $\mu_{v,z}$ ,  $\mu_{q,z}$ ,  $\mu_{v,мес}$ ,  $\mu_{q,мес}$  – среднее значение годовых и месячных максимумов скорости (v) и скоростного напора ветра (q) соответственно;

$V_{v,z}$ ,  $V_{q,z}$ ,  $V_{v,мес}$ ,  $V_{q,мес}$  – коэффициент вариации годовых и месячных максимумов скорости (v) и скоростного напора ветра (q) соответственно, определяемый как частное от деления стандартного отклонения и среднего значения

Таблица 2 – Результаты статистического оценивания параметров скорости ветра, зарегистрированных с использованием анеморумбометра

Метеостанция	$\mu_{v,2a}$	$V_{v,2a}$	Метеостанция	$\mu_{v,2a}$	$V_{v,2a}$
1	2	3	4	5	6
Березено	10,97	0,17	Кличев	18,20	0,17
Бобруйск	15,23	0,14	Марьяна Горка	14,92	0,19
Борисов	11,34	0,19	Могилев	18,49	0,15
Горки	17,51	0,12	Октябрь	14,72	0,19
Жлобин	11,64	0,18	Орша	14,36	0,16

где  $\mu_{v,2a}$ ,  $V_{v,2a}$  – среднее значение и коэффициент вариации годовых максимумов скорости ветра, полученные с использованием анеморумбометра соответственно

Таблица 3 – Результаты статистического оценивания параметров ветра для 3-летнего периода отнесения

Метеостанция	Скорость ветра				Ветровой напор			
	$\mu_{v,3a}$	$V_{v,3a}$	$\mu_{v,3a}^{(*)}$	$V_{v,3a}^{(*)}$	$\mu_{q,3a}$	$V_{q,3a}$	$\mu_{q,3a}^{(*)}$	$V_{q,3a}^{(*)}$
1	4	5	6	7	8	9	10	11
Березено	14,48	0,34	16,0	0,25	152,97	0,82	179,2	0,46
Бобруйск	17,45	0,14	17,9	0,14	193,62	0,28	203,1	0,26
Борисов	13,40	0,20	14,2	0,18	116,66	0,42	130,7	0,33
Горки	19,35	0,10	19,3	0,11	236,36	0,22	233,8	0,20
Жлобин	14,75	0,24	15,7	0,20	143,23	0,50	159,9	0,35
Кличев	20,34	0,15	20,4	0,15	264,04	0,30	264,8	0,27
Марьяна Горка	18,97	0,21	20,1	0,20	233,74	0,43	263,3	0,36
Могилев	21,38	0,18	22,7	0,16	295,96	0,41	333,5	0,30
Октябрь	17,83	0,21	18,4	0,17	207,13	0,42	215,6	0,30
Орша	17,26	0,19	18,4	0,18	196,45	0,41	221,6	0,33
Славгород	20,93	0,19	21,5	0,17	284,95	0,40	294,8	0,30

где  $\mu_{v,3a}$ ,  $\mu_{q,3a}$  – среднее значение годовых максимумов скорости ( $v$ ) и скоростного напора ветра ( $q$ ), полученные для 3-летнего периода отнесения ( $3a$ ) соответственно;  
 $V_{v,3a}$ ,  $V_{q,3a}$  – коэффициент вариации годовых максимумов скорости ( $v$ ) и скоростного напора ветра ( $q$ ) полученные для 3-летнего периода отнесения ( $3a$ ) соответственно как частное от деления стандартного отклонения и среднего значения;  
 $(*)$  – значение, вычисленное с использованием закона распределения Гумбеля

получить статистические параметры месячных и годовых максимумов прямым способом. Альтернативно для величин, распределенных по закону Гумбеля, допускается получать статистические параметры по аналитическим зависимостям. Для  $T$ -летних максимумов статистические параметры распределения Гумбеля могут быть назначены через годовые максимумы по формулам:

$$\mu_{v,Tлет} = \mu_{v,a} \cdot [1 + 0,78 \ln(T) \cdot V_{v,a}]; \quad (9)$$

$$\sigma_{v,Tлет} = \sigma_{v,a}, \quad (10)$$

где  $\mu_{v,Tлет}$ ,  $\sigma_{v,Tлет}$  – среднее значение и стандартное отклонение  $T$ -летних максимумов скорости ветра соответственно.

Для проверки эффективности применения закона распределения Гумбеля для различных периодов отнесения были проанализированы актуальные значения статистических параметров 3-летних максимумов. Для исследований был выбран тот же ряд географически однородно размещенных метеостанций, что и выше, при этом для рассматриваемых метеостанций от последнего отсчета (2013) интервал времени был разделен на трехлетние периоды, в каждом из которых выделялись экстремальные значения скорости и напора ветра, т.е. выполнялся анализ 16 результатов, что, безусловно, внесло статистическую неопределенность из-за ограниченности количества результатов (таблица 3).

**Статистические параметры коэффициентов  $c_i$  модели ветровой нагрузки.** Неопределенность коэффициентов  $c_i$  следует отнести к погрешности моделирования ветрового воздействия. Неопределенность моделирования ветрового воздействия оказывает влияние наравне с изменчивостью скорости ветра на результаты вероятностных расчетов, поэтому их описание также имеет важное значение. При этом статистические параметры коэффициентов  $c_i$  модели ветровой нагрузки являются наиболее неизученными, и их назначение при вероятностных расчетах обладает наибольшей условностью. Изучение статистических параметров осложняется их

зависимостью от используемой модели ветрового воздействия, которые в свою очередь постоянно совершенствуются. В [10] отмечено «В частности, заметно различаются рекомендации по назначению аэродинамических коэффициентов, хотя, казалось бы, именно здесь, где речь идет о представлении физических закономерностей, не должны присутствовать никакие национальные различия. По-видимому, это объясняется различной инженерной традицией и ориентацией на различную точность расчета».

В большинстве работ, например [11, 12, 13] при вероятностных расчетах, выполняемых для модели ветрового воздействия Еврокода, в основном ссылаются на статистические параметры, рекомендуемые JCSS Probabilistic Model Code [3, p. 54]. При относительно большом разнообразии назначаемых статистических параметров отдельных коэффициентов, значения статистических параметров обобщенного коэффициента «трансформации» находятся в диапазоне 0,64–0,70 и 0,25–0,30 для среднего значения и коэффициента вариации соответственно. Следует отметить, что для моделей ветрового воздействия, принятых в Американских и Канадских нормах, отдельные коэффициенты затруднительно сравнить в силу отличительной их интерпретации от Европейской модели, однако для обобщенного коэффициента «трансформации» среднее значение и коэффициент вариации приняты 0,68 и 0,22 [14] и 0,70 и 0,21 [15] соответственно.

**Заключение.** В рамках данной статьи принята попытка разработки единых вероятностных моделей ветрового воздействия, позволившая выделить следующие особенности для климатических условий Республики Беларусь, на минимизацию негативного влияния которых будут направлены дальнейшие исследования:

- 1) анализ эмпирических данных:
  - наличие для ряда относительно территориально близко расположенных станций и постов существенного разброса средних значений  $\mu_v$  и коэффициентов вариации  $V_v$  годовых максимумов скорости ветра свидетельствует о существовании макро- и микроклиматических особенностей данных станций,

что, возможно, требует более детального анализа, выходящего за рамки рассмотренной и учтенной изначальной микрометеорологической неоднородности данных;

- использование графического представления зафиксированных на метеостанциях Беларуси результатов систематических измерений значений скорости ветра (рис. 1), позволяет выделить тренд на общее уменьшение средней скорости, что может трактоваться как глобальными климатическими изменениями, так и носить исключительно урбанистический характер;
- так как при определении экстремального значения средней скорости ветра за конкретный год наблюдалась ситуация, когда максимальное значение было зафиксировано не единожды, распределение данных значений в полной мере считать соответствующим распределению экстремальных величин не представляется возможным.

2) анализ статистических параметров:

- коэффициент вариации годовых максимумов скорости ветра находится в широком диапазоне значений 0,12–0,38, при этом среднее значение и стандартное отклонение коэффициента вариации составляют 0,22 и 0,06 соответственно. Значение коэффициента вариации годовых максимумов скоростного напора лежит в пределах 0,24–0,85, при среднем значении и стандартном отклонении коэффициента вариации 0,47 и 0,14 соответственно. Следует отметить, что большие значения коэффициентов вариации скорости ветра и скоростного напора вызывают сложности взаимопонимания зарубежных и отечественных исследователей в принимаемых предположениях при вероятностных расчетах. Так в JCSS [3] отмечено, что значения коэффициентов вариации годовых максимумов скоростного напора находятся в диапазоне значений 0,2–0,3, что соответствует данным метеостанций стран Европейского союза, при этом, в частности, для территории Украины коэффициент вариации годовых максимумов скоростного напора заключен в пределах 0,5–0,75 [16];
- исключение результатов наблюдений, полученных с использованием флюгера Вильда с 2-минутным периодом осреднения, привело к уменьшению коэффициента вариации годовых максимумов скорости ветра, однако, т. к. при этом уменьшились и средние значения, то здесь скорее наблюдалось уменьшение значений этих параметров не из-за погрешности измерений, а за счет сокращения объема выборки и исключения начала выборки с наиболее большими значениями в рамках тренда на общее уменьшение скорости, на что уже акцентировалось выше;
- возможность использования закономерностей распределения Гумбеля для пересчета максимумов скорости ветра для различных периодов отнесения, в частности для 3-летних максимумов, подтверждена для большинства станций, однако эффективность применения данных закономерностей для корректировки максимумов скоростного напора имеет локальный характер, что объясняется частными климатическими особенностями отдельных метеостанций и нелинейной зависимостью напора ветра  $Q_b$  от базового значения скорости  $V_b$ ;

3) анализ обобщенного коэффициента «трансформации»  $C_i$ :

- статистические параметры коэффициентов  $C_i$  являются наиболее неизученными и их назначение при вероятностных расчетах обладает наибольшей условностью. Однако в большинстве исследований статистические параметры «обобщенного» коэффициента  $C_i$  имеют схожие значения и, учитывая «относительность» вероятностных методов расчета, заключающуюся в необходимости использования одинаковых вероятностных моделей и предположений при вероятностном расчете для возможности получения сопоставимых результатов, основной задачей для отдельной страны является исследование и уточнение национальных параметров скорости ветра.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Лычев, А.С. Надежность строительных конструкций: учебное пособие / А.С. Лычев. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 184 с.
- Надежность строительных конструкций. Общие принципы: СТБ ISO 2394-2007. Введ. 01.07.08. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2007. – 69 с.
- JCSS Probabilistic Model Code // Joint Committee of Structural Safety [Electronic resource]. – 2001. – Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. – Date of access: 15.01.2012.
- Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия: ТКП EN 1991-1-4-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 132 с.
- Черноиван, А.В. Нормирование ветровой нагрузки на здания и сооружения для климатических условий Республики Беларусь: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.01 / А.В. Черноиван. – Брест, 2012. – 179 л.
- Швень, Н.И. Особенности режима ветра на территории Украины и их связь с глобальными изменениями атмосферной циркуляции и другими факторами: автореф. дис. ...канд. геогр. наук: 25.00.30 / Н.И. Швень; Государственное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова». – СПб., 2006. – 19 с.
- Еврокод. Основы проектирования конструкций: ТКП EN 1990-2011. Введ. 01.07.12. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2012. – 70 с.
- Тур, В.В. Нормирование снеговых нагрузок для территории Республики Беларусь / В.В. Тур, В.Е. Валуев, С.С. Дереченник, О.П. Мешик, И.С. Воскобойников // Строительная наука и техника. – 2008. – № 2. – С. 27–45.
- Sýkora, M. Verification of existing reinforced concrete structures using the design value method / M. Sýkora, M. Holický // In Strauss, A., Bergmeister, K., Frangopol, D.M. (eds.) Proceedings of the 3th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2012), Vienna, Austria, 3 - 6 October 2012. Leiden: CRC Press/Balkema. – 2012. – P. 821–828.
- Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев [и др.] ; под общ. ред. А.В. Перельмутера. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 482 с.
- Holický, M. Reliability assessment of alternative Eurocode and South African load combination schemes for structural design / M. Holický, J. Retief // Journal of the South African Institution of Civil Engineering. – 2005. – Vol. 47. – № 1. – P. 15–20.
- Vrouwenvelder, T. Reliability based code calibration. The use of the JCSS probabilistic model code / T.Vrouwenvelder // Workshop on Reliability Based Code Calibration: Press Release, Zurich, March 21-22, 2002 [Electronic resource] / Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich). – 2002. – Mode of access : [http://www.jcss.ethz.ch/events/WS\\_2002-03/WS\\_2002-03.html](http://www.jcss.ethz.ch/events/WS_2002-03/WS_2002-03.html). – Date of access : 10.05.2011.
- Holický, M. Conventional probabilistic models for calibration of codes / M. Holický, M. Sýkora // In M.H. Faber, J. Köhler & K. Nishijima (eds.), Proceedings of 11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering ICASP11, 1-4 August, 2011, ETH Zurich, Switzerland. Leiden (The Netherlands): Taylor & Francis/Balkema. – 2011. – P. 969–976.
- Bartlett, F.M. Load factor calibration for the proposed 2005 edition of the National Building Code of Canada: Statistics of loads and load effects/ F.M. Bartlett, H.P. Hong, W. Zhou // Canadian Journal of Civil Engineering. – 2003. – Vol. 30. – № 2. – P. 429–439
- Ellingwood, B.R. 1999. Wind load statistics for probability-based structural design / B.R. Ellingwood, P.B. Tekie // ASCE Journal of Structural Engineering, 125(4): 453–464.
- Пичугин, С.Ф. Нормирование ветровой нагрузки на решетчатые опоры в стандартах разных стран мира / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько // Металлические конструкции. – 2009. – № 4. – Том. 15. – С. 237–252.

Материал поступил в редакцию 30.03.2017

**TUR V.V., NADOLSKY V.V., CHERNOIVAN A.V. Probabilistic models of wind influence for climatic conditions of Republic of Belarus**

The system of Eurocodes (TCP EN) recognise the responsibility of regulatory authorities to determine values related to regulatory reliability at national level. But studies of reliability based on different probability models can lead to uncomparable results. Therefore, an important task is to develop common approaches to define probabilistic models of basic variables. The submitted study is focussed on analysis of probabilistic models of wind action. The modern approach to probabilistic modeling of wind action with an emphasis on European trends is shown in the article. The analysis of available empirical data of observations of the base value of wind speed is done. On the basis of which the statistical parameters of wind speed were obtained. Probabilistic models wind load taking into account the territorial conditions of the Republic of Belarus are clarified. The probabilistic model of wind action for different referent periods are recommended based on the investigations. It is expected that the results obtained from this study will provide background materials for development of National annexes.

УДК 681.3: 634.04

**Семенюк О.С., Тур В.В.**

## ПАРАМЕТРЫ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА

**Введение.** На протяжении ряда лет, одним из эффективных способов повышения трещиностойкости конструкций из монолитного бетона, является выполнение предварительного напряжения в построечных условиях (постнапряжение). Несмотря на очевидные преимущества названного способа, его реализация требует применения высокотехнологичного оборудования, специальных анкерных устройств, а также привлечения высококвалифицированного персонала. Альтернативой механическому способу натяжения арматуры является физико-химический способ предварительного напряжения при применении бетонов на основе напрягающего цемента (напрягающий бетон). При реализации данного способа, натяжение арматуры происходит в процессе объёмного расширения напрягающего бетона на стадии твердения и набора прочности последнего.

В настоящее время в мировой практике (Китай [1], Япония [2], США [3]) наблюдается как существенное увеличение объёмов производства и применения бетона, выполненного на основе расширяющихся вяжущих и добавок (в основном сульфоалюминатного и оксидного типа), так и интенсификация исследований в данной области. Необходимо подчеркнуть, что за последние десятилетия в отечественной практике накоплен значительный опыт применения напрягающего бетона в конструкциях зданий и сооружений, основанный на результатах экспериментально-теоретических исследований научной школы проф. В.В. Михайлова [4], заложившей основы современного самоупроченного железобетона.

Вместе с тем, широкое применение конструкций из напрягающего бетона (далее – самоупроченных конструкций) в практике строительства может быть обеспечено только в том случае, если будут достигнуты стабильные значения параметров расширения, соответствующие значениям, заложенным в расчёт при проектировании. Данное требование может быть реализовано с одной стороны совершенствованием технологии получения расширяющихся вяжущих и бетонов на их основе, обеспечивающих достижение заданных характеристик расширения и самоупрочения в стандартных условиях, а с другой стороны – применением адекватных расчётных моделей для определения связанных деформаций для любых условий ограничения деформаций свободного расширения напрягающего бетона. В настоящее время технология получения расширяющихся вяжущих (добавок) и бетонов на их основе опережает в своём развитии разработку моделей, применяемых для расчёта собственных деформаций самоупроченных элементов в раннем возрасте.

Применяемые в настоящее время модели для оценивания связанных деформаций в раннем возрасте базируются, главным образом, на следующих подходах: энергетическом [4, 5]; деформационном [6, 7]; объединённом подходе [8], основанном на совместном использовании положений энергетического и деформационного подходов. Несмотря на ряд преимуществ известные подходы в их актуальной формулировке имеют ряд недостатков, которые подробно проанализированы в наших работах [9].

Как следует из накопленных за последние десятилетия результатов исследования самоупроченных конструкций, величина связанных деформаций к моменту стабилизации расширения зависит главным образом от следующих факторов: энергоактивности применённого вяжущего и его содержания в составе бетонной смеси, степени ограничения деформаций свободного расширения (жёсткости ограничивающих связей), положения ограничивающих связей (граничных условий) и условий хранения конструкции на стадии расширения напрягающего бетона. При этом традиционно бытует представление о том, что на стадии расширения следует обеспечивать достижение максимальных значений сжимающих напряжений в бетоне (самоупрочения), а величина связанной деформации отодвигается на второй план. Так, например, в рамках энергетического подхода [4, 5], выполняют расчёт только самоупрочения без оценки величины связанных деформаций. Вместе с тем в компенсации усадочных деформаций основную роль играет величина достигаемых деформаций связанного расширения. Несложно показать, что при увеличении жёсткости ограничения могут быть достигнуты значительные по величине самоупрочения (например, при условно абсолютно жёсткой связи), которые будут достаточно быстро погашены после реализации усадочных деформаций, равных по величине деформациям упругого обжатия напрягающего бетона, накопленных в процессе его расширения в условиях ограничения. Поэтому следует стремиться к достижению некоторого оптимального соотношения между величиной связанной деформации и самоупрочения как результата упругого обжатия бетона. К сожалению, величина деформации упругого обжатия напрягающего бетона не может быть измерена непосредственно в опытах, однако её можно установить по расчётам, которые реализуются в рамках деформационных моделей. Так, авторами статьи предложена модифицированная деформационная модель (MSDM – «Modified Strains Development Model») [10, 11], предназначенная для расчёта величины связанной относительной деформации расширения напрягающего бетона и самоупрочения в случае применения высокоактивных напрягающих бетонов. Как показано в [11], предложенная модель может быть успешно применена для расчёта связанных деформаций и самоупрочений элементов из напрягающего бетона при произвольных расположении и жёсткости ограничивающих связей.

### 1. Методика проведения экспериментальных исследований

**1.1. Программа экспериментальных исследований.** Программа экспериментальных исследований самоупроченных опытных образцов-балок серий I и II с несимметричным расположением ограничивающих связей конечной жёсткости представлена в табл. 1.

### 1.2. Материалы для изготовления опытных образцов

**Напрягающий цемент.** Для приготовления бетонной смеси использовали трёхкомпонентный напрягающий цемент лабораторного помола НЦ-МГ. Напрягающий цемент НЦ-МГ состоял из смеси портландцемента (CEMI-42,5N), метакаолина, природного двудного

**Семенюк Ольга Сергеевна, магистр технических наук, аспирантка кафедры технологий бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.**

*Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

*Строительство и архитектура*