

2. Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения : ТКП 45-2.04-196-2010. – Минск : Минстройархитект. РБ. – 2010. – 21 с.
3. Строительная климатология (Изменение № 1 СНБ 2.04.02-2000) : СНБ 2.04.02-2000. – Минск : Минстройархитект. РБ. – 2007. – 33 с.
4. Утверждено и введено в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 29 декабря 2008г. № 484. Изменение №1 ТКП 45-2.04-43-2006(02250).
5. Гагарин, В. Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций // Строительные материалы. – 2010. – № 3. – С. 8–16.
6. Черноиван, В. Н. Техническое состояние конструктивных слоев утепленных наружных стен эксплуатируемых зданий / В. Н. Черноиван, Н. В. Черноиван, В. Г. Новосельцев // Промышленное и гражданское строительство (г. Москва, Россия). – 2014. – № 4. – С. 45–48.
7. Черноиван, В. Н. К вопросу проектирования тепловой изоляции кирпичных стен жилых зданий / В. Н. Черноиван, Н. В. Черноиван, В. Г. Новосельцев, А. В. Черноиван // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2016. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплотехника и геоэкология – С. 134–137.
8. Черноиван, В. Н. Нужны ли в Беларуси корректировки требований по определению сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций? // Мастерская. Современное строительство. Белорусский аналитический журнал для практиков строительного дела. – 2016. – № 6. – С. 33–37.
9. Черноиван, В. Н. Пути совершенствования конструктивно-технологических решений несущих кирпичных стен / В. Н. Черноиван, В. Г. Новосельцев, Н. В. Черноиван, В. И. Юськович, А. В. Черноиван // Промышленное и гражданское строительство (г. Москва, Россия). – 2018. – № 2. – С. 43–47.
10. Васильев, Б. Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий. – М. : Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1957. – 210 с.
11. Гагарин В. Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. – 2008. – № 8. – С. 41–47.

Материал поступил в редакцию 17.02.2019

CHERNOIVAN V. N., CHERNOIVAN N. V., NOVOSELCEV V. G., CHERNOIVAN A. V. Assessment of the efficiency of thermal modernization of residential buildings

The full-scale studies of operated residential brick buildings, the insulation of the facades of which is carried out by the method of «thermoshuba», showed that to ensure the payback of works on thermal modernization, recommended today in Belarus $R_{m, norm.} = 3.2 \text{ m}^2 \times \text{C/W}$ requires a significant downward adjustment.

УДК 551.582.3+624.0

Тур В. В., Мешик О. П., Дереченник С. С., Черноиван А. В., Маркина А. А.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ГИС ДЛЯ НАЗНАЧЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Введение. Установление характеристических значений климатических воздействий на строительные конструкции осуществляется в соответствии с Национальными приложениями к EN 1991-1-3 [1], EN 1991-1-4 [2], EN 1991-1-5 [3], где приведены карты районирования снеговых и ветровых нагрузок, температурных воздействий. Снимаемое с карт характеристическое значение является фоновым и часто не учитывает физико-географические особенности региона (высоту над уровнем моря, лесистость, экспозицию склона и др.). Региональные особенности могут существенно корректировать реальные климатические воздействия и, в этой связи, необходим инструмент, способный решать задачу надежного обеспечения потребителей обработанными данными метеорологических наблюдений. Таким инструментом является геоинформационная система (ГИС), разработанная на реальных метеорологических данных, учитывающих современные климатические изменения и использующая оригинальные методики определения характеристических значений климатических воздействий с учетом региональных физико-географических особенностей.

Цель работы – создание ГИС, позволяющей назначать характеристические значения климатических воздействий на строительные конструкции зданий и сооружений в Республике Беларусь.

Исходными данными в исследованиях являются: обобщения состояния климата и его изменений в Республике Беларусь; временные ряды метеорологических наблюдений, характеризующих ветро-

вой и температурный режимы, количественные и качественные характеристики снежного покрова на территории Республики Беларусь; результаты научных исследований в области климата и его влияния на конструкции зданий и сооружений.

Первые ГИС появились в 60-е годы 20 века и решали задачи управления земельными ресурсами в Канаде и Швейцарии. Развитие информационных технологий привело к всплеску и повсеместному развитию ГИС в 80-90-е годы для решения прикладных задач природопользования и природообустройства, экологии, геологоразведки и др. Особое место заняли ГИС непосредственно в изысканиях, планировании, проектировании, эксплуатации объектов промышленного и гражданского, водохозяйственного, энергетического, транспортного, сельскохозяйственного и других видов строительства. Современная ГИС – это система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информацией о необходимых объектах [4]. В этой связи создаваемая ГИС представляет собой многослойную интерактивную карту с набором векторных и растровых слоев и их комбинаций, включая картографическую основу, позволяющую с достаточным разрешением, применительно к конкретному объекту, представленному географическими координатами (широтой, долготой, высотой), решать задачи по назначению климатических воздействий на строительные конструкции. Пространственные данные представлены в виде послойных карт снеговых и ветровых

Тур Виктор Владимирович, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета

Мешик Олег Павлович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой природообустройства Брестского государственного технического университета.

Дереченник Станислав Станиславович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой электронных вычислительных машин и систем Брестского государственного технического университета.

Маркина Анастасия Александровна, магистрант кафедры электронных вычислительных машин и систем Брестского государственного технического университета.

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

Таблица 1 – Изменчивость высоты метеостанций

Метеостанция	Высота метеоплощадки, соотв. большей части временного ряда, м	Соврем. высота метеоплощадки, м	Разница, м	Примечание
Витебск	166	174	8	166 м до 31 мая 1989 года
Гомель	138	125	-13	141 м с 1950 по 1967 год
Мозырь	162	188	16	с 28 декабря 1997 метеоплощадка перенесена на 189 м
Волковыск	157	180	13	с 5 мая 1980 высота площадки 180 м
Гродно	117	133	16	высота метеоплощадки с 1 января 1985 года – 133 м
Вилейка	182	163	-19	высота метеоплощадки с 1 июля 1996 года – 163 м
Березино	170	153	-17	высота метеоплощадки с 30 сентября 1987 – 153 м

районов, характеристик температурного режима территории Беларуси. Отличительной особенностью создаваемой ГИС является возможность аналитических расчетов количественных характеристик климатических воздействий.

Для определения характеристических значений снеговых и ветровых нагрузок, температурных воздействий на строительные конструкции, разработки ГИС использованы данные метеорологических наблюдений за период 1944–2014 гг. по 46 метеостанциям.

Основной проблемой исходных данных является обеспечение их репрезентативности. Для того чтобы результаты наблюдений были сравнимы между собой и могли использоваться на практике, они должны обладать единством качества, которое обуславливается средствами и методами производства наблюдений, изложенными в Правилах проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях [5, 6], положения которых являются обязательными при производстве всех наблюдений.

Расчет величин снеговых нагрузок на сооружения выполняется по величине запасов воды в снеге, получаемой на основе высоты снежного покрова и его плотности. Величина снеговой нагрузки ($кг/м^2$) численно равна запасам воды ($мм$). Дополнительно к наблюдениям по постоянным рейкам, в 30-х годах 20 века в Беларуси стали производиться снегомерные съемки. Наблюдения по постоянным рейкам, проводимые ежедневно, дают представление об изменениях высоты снежного покрова в течение зимы, но не дают прямого отражения характера его распределения на местности.

Ветровая нагрузка, действующая на здания или сооружения, может быть представлена упрощенной схемой распределения давлений или усилий, эффект от которых эквивалентен экстремальным воздействиям турбулентного ветра. Ветровое воздействие представляет собой давление на внешние поверхности наружного ограждения, а вследствие их проницаемости также и на внутренние поверхности. В общем случае давление ветра действует по нормали к поверхности, однако в случае обтекания ветром крупных объектов, следует также учитывать силы трения, действующие параллельно расчетным поверхностям.

Единство средств и методов измерений регламентирует определение следующих характеристик ветра:

- средней скорости ветра, $м/с$;
- среднего направления ветра (*угловой градус, румб*);
- максимальной скорости ветра в срок (скорость ветра при порывах, $м/с$);
- максимальной скорости ветра между сроками наблюдений (максимальный порыв за три часа, $м/с$).

Температурные воздействия на конструкции должны быть установлены в соответствии с нормами, для каждой расчетной ситуации. Суточные и сезонные изменения температуры наружного воздуха, солнечное излучение, обратное отражение приводят к изменению распределения температуры в составных элементах конструкций. Деформации и любые напряжения являются результатом изменений распределения температур в зависимости от геометрии, условий опирания, физических свойств материала конструктивных элементов.

Судить о репрезентативности данных наблюдений по конкретной метеостанции можно, если результаты ее наблюдений показательны для окружающего более или менее значительного (порядка несколь-

ких десятков километров) района и по результатам наблюдений этой станции можно получить интерполированные значения в пунктах окружающего ее района с точностью до ошибки принятого метода интерполяции, в предположении однородности территории района относительно всех факторов, под влиянием которых формируется метеорологический режим. Очевидно, что чем ближе будет находиться метеостанция к проектируемому объекту, тем надежнее будет точность инженерных расчетов и, в итоге, качество проектируемых мероприятий. Анализ фактической ситуации позволил выделить на территории Республики Беларусь районы, наиболее удаленные от действующих метеостанций (до 50–70 км).

Для объективной оценки климатических воздействий на строительные конструкции важно сохранение неизменности местоположения метеостанций и, как следствие, однородности рядов гидрометеорологических наблюдений на них. Причинами нарушения однородности рядов наблюдений являются следующие факторы:

- перенос пункта гидрометеорологических наблюдений в иные условия местоположения;
- изменение условий защищенности пункта гидрометеорологических наблюдений (застройка охранной зоны, рост деревьев и кустарников, несанкционированная хозяйственная деятельность в непосредственной близости от метеорологической площадки и др.);
- смена типа средств измерений;
- изменение методики производства наблюдений и методики выполнения измерений;
- изменение сроков наблюдений;
- смена персонала станции.

Очевидно, что с начала инструментальных наблюдений многократно нарушалась однородность временных рядов по вышеуказанным причинам. В таблице 1 приведен перечень метеостанций, по которым происходило существенное изменение высоты метеоплощадки. Временные ряды характеристик, изменчивость которых коррелирует с высотой местности, в этом случае, можно считать неоднородными и требуют обеспечения репрезентативности.

Обеспечение репрезентативности временных рядов на метеостанциях осуществляется системой поправок и корректировок. Исследователями на практике, в зависимости от решаемых задач, должны вводиться дополнительные коррективы для приведения рядов метеорологических данных наблюдений к однородным.

Для нормирования снеговых нагрузок нами используется ряды наблюдений по метеостанциям за отдельные годы (в таблице 2 приведен пример для Бреста), включающие максимальный общий запас воды в снежном покрове по каждому году. Фактически, эти данные получены как произведение осредненной высоты снежного покрова по маршруту и осредненной плотности.

В графе 3 таблицы 2 приведены результаты оценки максимальных запасов воды в снеге, полученные как произведение максимальной высоты снежного покрова на маршруте (из измерений в 20 точках) и осредненной плотности. Такой подход к определению снеговых нагрузок в наших условиях не совсем приемлем. Во-первых, данные о максимальной высоте снежного покрова по маршруту начали фиксироваться только с 1985 года (короткие ряды наблюдений). Во-вторых, произведение максимальной высоты снежного покрова по маршруту и осредненной плотности снега не отражает фак-

тические запасы воды в снеге, а произведение максимальной высоты снежного покрова по маршруту и максимальной плотности снега по этому же маршруту, тем более будет искажать реальные запасы воды в снеге (часто большей высоте снежного покрова соответствует меньшая плотность). Более того, в таких расчетах не учитывается запас воды в слое снега, насыщенного водой, в слое талой воды и в ледяной корке. В-третьих, использование в расчетах максимальной высоты снежного покрова, полученной в какой-либо единичной точке маршрута, является дискуссионным. Формирование максимальной высоты снега на маршруте носит случайный характер и определяется локальными неоднородностями и шероховатостью поверхности. Всегда можно найти любые другие точки, вблизи маршрута, где высота снежного покрова будет еще больше. В-четвертых, использование данных, подобных графе 3 таблицы 2, при оценивании прогнозных снеговых нагрузок различными методами, включая широко известные, например, Гумбеля, приведет к увеличению снеговых нагрузок на территории Беларуси до 30–50 % и более.

Таблица 2 – Запасы воды в снеге, мм

Годы	Брест (официальные данные)	Брест (по макс. высоте снега на маршруте)	Тересполь
1	2	3	4
1985-1986	57	78	79
1986-1987	70	108	70
1987-1988	21	44	63
1988-1989			5
1989-1990	20	29	33
1990-1991	26	33	42
1991-1992			24
1992-1993	32	46	35
1993-1994	26	32	26
1994-1995	14	22	14
1995-1996	92	97	108
1996-1997	17	29	17
1997-1998	14	32	31
1998-1999	26	33	54
1999-2000	23	23	51
2000-2001	19		25
2001-2002	53	93	62
2002-2003	47	65	48
2003-2004	40	48	46
2004-2005	61	87	73
2005-2006	44	65	72

Нами выполнен сравнительный анализ исходных данных по запасам воды в снеге по сопредельным метеостанциям Беларуси и Польши: Тересполь, Брест. Как видно из таблицы 2, данные по Бресту (графа 2 – официальные метеорологические данные) и по Тересполью (графа 4) существенно отличаются. В большей степени данные о запасе воды в снеге в Бресте и Тересполье близки, когда для Бреста они рассчитываются по максимальной высоте снега на снегомерном маршруте.

В Беларуси на метеостанциях также осуществляют ежедневные наблюдения за высотой снежного покрова по постоянным рейкам. Однако при этом не рассчитывается плотность снега и, соответственно, запас воды в снеге. В отдельные сутки значения высоты снега по постоянным рейкам могут быть большими, чем по снегомерному маршруту, но в целом они коррелируют с данными снегомерных съемок. В подавляющем большинстве случаев высота снежного покрова по постоянной рейке будет ниже максимальной высоты снежного покрова на маршруте.

Методики нормирования климатических воздействий на конструкции, представленные в государственных и Европейских стандартах, основаны на экспериментальных данных (результатах наблюдений) за продолжительный период времени. Происходящие климатические изменения, среди которых наиболее значимы изме-

нения температур воздуха и количества осадков, подлежат обязательному учету в ходе нормирования воздействий.

На современном этапе развития прикладных исследований и инженерной практики оценка снеговых нагрузок на конструкции зданий и сооружений базируется на характеристических значениях нагрузки, которые имеют годовую вероятность превышения 0,02. Пятидесятилетняя расчетная повторяемость увязывается с нормативным сроком эксплуатации зданий и сооружений.

Методики назначения нормативной снеговой нагрузки на покрытиях зданий базируются, как известно, на прогнозируемом значении веса снегового покрова на единицу площади (на поверхности Земли, на защищенном от ветра участке). Уровень качества нормирования при этом в решающей степени зависит от степени статистической достоверности указанного прогноза. Нами предложены и реализованы новые подходы, позволяющие проводить оценку снеговой нагрузки:

- непараметрический метод прогнозирования характеристических значений снеговой нагрузки с оцениванием положения медианы квантили задаваемого уровня, основанный на порядковых статистиках (интервальной оценке квантили эмпирического распределения);
- метод интегральной (на интервалах) минимизации квадратической ошибки регрессионных моделей, позволяющий повысить качество аппроксимации эмпирических распределений за счет нечувствительности к регулярности расположения отсчетов на шкале фактора.

В таблице 3 приведены полученные разработанным методом результаты прогнозирования характеристических значений снеговой нагрузки для периода повторяемости 50 лет по отдельным метеостанциям, расположенным на территории Беларуси. Для сравнения в таблице 3 приведены также результаты прогнозирования, полученные методом точечной оценки квантилей, в том числе с исключением рекордных значений, если они имеют большой период повторяемости.

Таблица 3 – Характеристические значения снеговой нагрузки с периодом повторяемости 50 лет (0,98-квантиль вероятностного распределения годовых максимумов нагрузки) для метеостанций Республики Беларусь

Метеостанция	Точечная оценка квантили, кПа		Оценка медианы квантили методом доверительных интервалов с пятиточечным выравниванием, кПа
	без удаления рекордных значений – оценка сверху	с удалением рекордных значений с периодом повторяемости (лет) – оценка снизу	
Брест	1,05	–	1,00
Витебск	1,82	–	1,77
Гомель	1,39	1,29 (360)	1,35
Гродно	1,40	–	1,35
Могилев	1,46	–	1,50
Минск	1,48	–	1,46

Важным этапом при нормировании снеговых нагрузок на конструкции зданий и сооружений является районирование характеристических значений по исследуемой территории.

Для оптимизации количества снеговых районов нами предполагается обеспечение ряда условий. С одной стороны, установление фонового районного значения снеговой нагрузки. С другой стороны, его корректировка в зависимости от физико-географических характеристик, например, высоты (альтитуды) местности.

Установленные регрессионные зависимости снеговой нагрузки от высоты местности (альтитуды) в отдельных группах (кластерах) территориально соседствующих станций, после представления к более удобному для практического использования виду, сведены в таблицу 4. При этом некоторые группы, близкие по угловому коэффициенту регрессии и/или по фоновому (среднему) значению нагрузки, предлагается рассматривать как подрайоны более крупных объединенных районов. В таблице курсивом выделены метеостанции, принадлежность которых к районам (подрайонам) является

Таблица 4 – Зависимости характеристических значений снеговой нагрузки s_k , кПа от альтитуды A , м для метеостанций Республики Беларусь

Номер района	Номер подрайона	Метеостанции	Регрессионная зависимость «альтитуда-нагрузка»
1	1а	Гродно, Ошмяны, Вилейка, <u>Лида</u> , <u>Волковыск</u> , <u>Слуцк</u> , <u>Барановичи</u>	$s_k = 1,35$ (константа)
1	1б	Брест, Высокое, <u>Лида</u> , <u>Волковыск</u> ,	$s_k = 1,35 + 0,022 (A-155)$
1	1в	Гомель, Житковичи, Василевичи, Октябрь, Пинск, Жлобин, Кличев, Полеская, Лельчицы, Мозырь, Бобруйск, Славгород, Столбцы, Марьина Горка, Воложин, Горки, Могилев, <u>Слуцк</u>	$s_k = 1,35 + 0,0038 (A-140)$
2	2а	Верхнедвинск, Новополоцк, Орша, Езерище, Витебск	$s_k = 1,45 + 0,006 (A-125)$
2	2б	Березино, Борисов, Сенно, Лепель, Докшицы, Щарковщина, Лынтупы	$s_k = 1,45 + 0,006 (A-150)$
2	2в	Пружаны, Ивацевичи, Ганцевичи, Минск, Воложин, Новогрудок, <u>Барановичи</u>	$s_k = 1,45 + 0,006 (A-210)$
3	–	Костюковичи, Брагин, Чечерск	$s_k = 1,55$ (константа)

вариативной. На основании дополнительных (климатологических, географических) соображений такие станции отнесены к конкретным районам, что выделено в таблице 4 подчеркиванием.

Для территории Республики Беларусь, таким образом, устанавливаются 3 снеговых района с фоновыми значениями снеговой нагрузки 1,35 кПа, 1,45 кПа и 1,55 кПа. Характеристическое значение снеговой нагрузки для конкретного объекта строительства определяется, в большинстве случаев, с учетом высотного положения площадки (местности). В районах 1 и 2 выделяются по три подрайона. Границы районов и подрайонов увязаны с физико-географическими особенностями исследуемой территории и являются основой, наряду с данными таблицы 4, для проектируемой ГИС (рисунок 1).

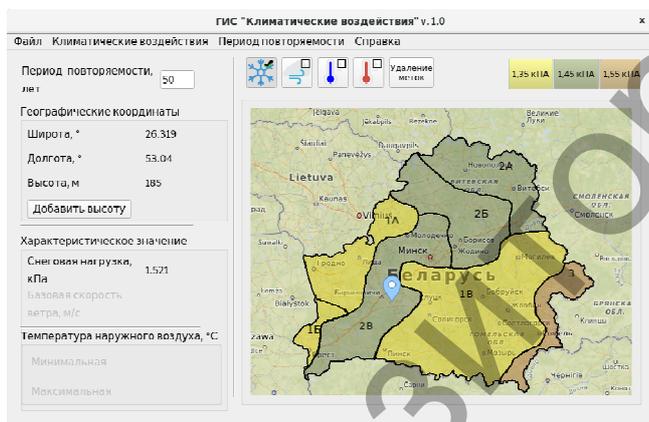


Рисунок 1 – Расчет снеговых нагрузок (карта снеговых районов)

Географически районы имеют вытянутую в меридиональном направлении форму. Это достаточно хорошо согласуется с фронтальным переносом в зимний период воздушных масс с Атлантики, имеющих более высокое влагосодержание, чем воздушные массы, поступающие на территорию Республики Беларусь с других направлений.

Ветровые воздействия, рассматриваемые в ТКП EN 1991-1-4 [2], определяются базовым значением скорости ветра v_b или соответствующим скоростным напором, т. е. характеристическим значением с годовой вероятностью превышения 0,02.

Расчеты основных значений базовой скорости ветра по 45 метеостанциям Республики Беларусь показали незначительное снижение скоростей ветра в сравнении с периодом 1966–2008 гг. по 34 метеостанциям в диапазоне 0,1–0,4 м/с. Калибровка частных коэффициентов для расчетных значений ветровой нагрузки за репрезентативный период 1966–2013 гг. дала возможность выделить на территории Республики Беларусь ветровой район с базовой скоростью ветра 21 м/с. К этому району относятся 26 метеостанций, что составляет около 60 % всей территории Республики Беларусь (рис. 2). Другой выделенный ветровой район соответствует базовой скорости ветра 23 м/с. Ранее, в Национальном приложении к ТКП EN 1991-1-

4-2009 [2] выделялись 2 ветровых района с базовыми скоростями ветра 22 и 24 м/с соответственно.

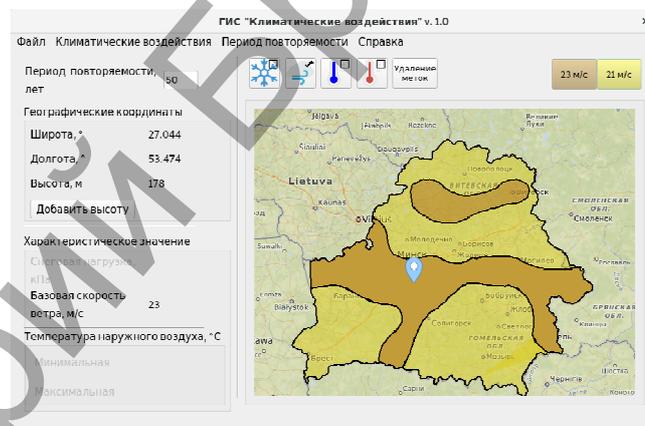


Рисунок 2 – Определение ветрового воздействия (карта ветровых районов)

Выделенные районы полностью соответствуют физико-географическим особенностям исследуемой территории (учтены орографические особенности, преобладающее направление ветра, шероховатость подстилающей поверхности, выраженная лесистостью и другие факторы). Район с более высокой базовой скоростью ветра 23 м/с коррелирует с установленными районами, перспективными для развития ветроэнергетики.

В таблице 5 показаны результаты калибровки частных коэффициентов для расчетных значений ветрового воздействия при $v_b,0 = 21$ м/с и 23 м/с за репрезентативный период наблюдений 1966–2013 гг. для территории Беларуси.

С целью получения характеристических значений максимальных и минимальных температур воздуха T_{max} и T_{min} с годовой вероятностью превышения 0,02 выполнен анализ временных рядов с использованием различных методических подходов и расчетных случаев.

В первом случае выполнена попытка аппроксимации (выравнивания) эмпирических кривых распределения и сопоставления их с теоретическими, при этом с использованием классических параметрических критериев согласия Пирсона и Колмогорова отвергались неверные гипотезы и принимались наиболее вероятные из числа распределений: нормального, логнормального, Гумбеля, Крицкого-Менкеля.

Во втором случае выполнялась прогнозирование характеристических температур воздуха на основе анализа хвостовой части распределений эмпирических данных различными типами аппроксимации. Длина хвоста принималась в пределах 11–20 значений.

В третьем случае осуществлялась проверка выборок на экстремальные значения, которые исключались при статистическом прогнозировании, когда имел место значительный период их повторяемости (свыше 150–200 лет).

Таблица 5 – Нормирование основных значений базовой скорости ветра и калибровка частных коэффициентов для расчетных значений ветровой нагрузки за период наблюдений с 1966 по 2013 гг.

Метеостанция	$V_{b,0i}$, м/с	Вероятность превышения для $V_{b,0i}$	q_{bi} , Па	Вероятность превышения для q_{bi}	Период повторяемости для расчетного значения нагрузки, года	P_{Si}	γ_{fi}
Брест	16,7	0,989	182,0	0,987	5313	0,9998	1,013
Витебск	25,4	0,981	371,9	0,978	133	0,9925	1,570
Гомель	28,8	0,969	438,7	0,960	171	0,9942	1,543
Гродно	29,4	0,975	455,5	0,975	354	0,9971	1,487
Минск	23,1	0,984	300,6	0,982	2188	0,9995	1,313
Могилев	27,2	0,962	396,5	0,964	69	0,9856	1,620

В таблице 6 приведены значения прогнозных температур воздуха T_{max} и T_{min} с годовой вероятностью превышения 0,02 для ряда метеостанций территории Беларуси.

Таблица 6 – Прогнозные температуры воздуха, полученные различными способами, °С

Метеостанция	1 расч. случай		2 расч. случай		3 расч. случай	
	T_{min}	T_{max}	T_{min}	T_{max}	T_{min}	T_{max}
Брест	-30,5	36,4	-32,5	36,4	-29,8	36,4
Витебск	-35,7	35,2	-36,6	36,0	-34,5	34,4
Гомель	-33,7	37,1	-34,6	38,1	-34,6	36,7
Гродно	-34,3	35,5	-34,9	36,1	-34,9	36,1
Минск	-33,5	34,7	-35,3	34,6	-35,3	34,6
Могилев	-35,1	35,4	-35,7	35,5	-35,7	34,5

Учитывая, что полученные различными способами значения прогнозных температур воздуха в отдельных случаях отличаются на величину, превышающую точность инструментальных измерений (0,5 °С), а подтвердить достоверность принятого способа аппроксимации затруднительно, для территории Беларуси выполнено картирование полученных результатов, которое позволило обосновать характеристические значения температур наружного воздуха.

На рисунках 3, 4 представлены карты характеристических значений температур воздуха на территории Беларуси, которые являются составной частью Национального приложения к ТКП EN 1991-1-5-2009 [3] и интегрированы в создаваемую ГИС.

Как было сказано выше, для разработки ГИС требуется многочисленная картографическая информация. Выбор рационального способа картографического отображения характеристик снежного покрова, характеристик ветра и температурного режима должен основываться на следующих факторах: особенностях объекта (явления), его размещения, структуры; задачах картографирования объекта при создании карты; содержания и вида исходной информации, методов ее обработки и возможностей локализации этой информации на основе карт и по другим материалам. При выборе способа картографического отображения также учитывают общие закономерности пространственного размещения явлений (объектов) и типов их пространственно-территориальных структур.

В качестве основного инструмента построения карт выступает способ изолиний. Карта, построенная в изолиниях, дает возможность оперативно, с достаточной точностью, оценивать метеорологическую ситуацию в районе проектирования объектов различного назначения, готовить исходные данные для инженерных расчетов, которые декларируются нормативными документами Республики Беларусь, но в которых часто отсутствует база исходных данных. Возможно при построении карт использование способа качественного фона, еще более наглядного [8], например, карты снеговых и ветровых районов.

Для построения карты требуется подготовленная математическая поверхность, разбитая на квадратные ячейки (гриддинг), полностью перекрывающие картируемую площадь. Чем меньше будет ячейка, тем выше получится разрешающая способность карты. Задача подготовки поверхности сводится к определению значений исследуемых показателей в узлах принятой сетки по данным близлежащих кон-

трольных точек. Изолинии проводятся не по данным опорных точек наблюдений, а по вычисленным значениям в узлах сетки.

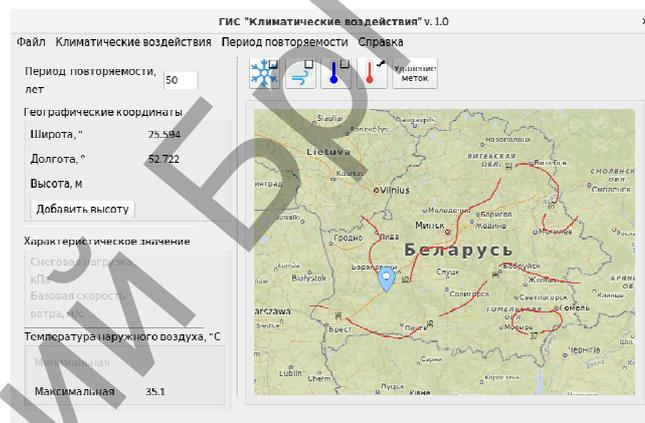


Рисунок 3 – Расчет максимальной температуры наружного воздуха

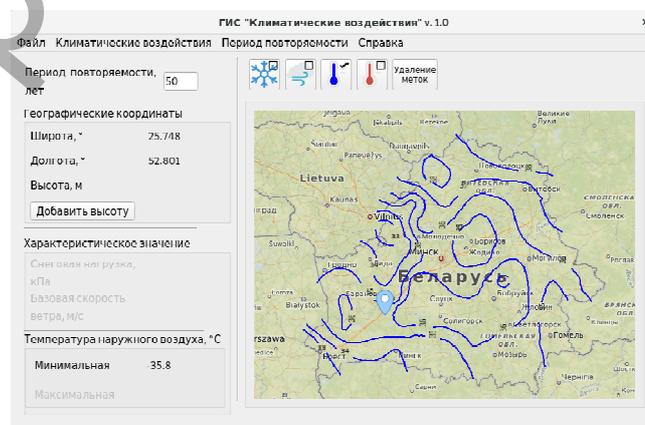


Рисунок 4 – Расчет минимальной температуры наружного воздуха

Построение карты в изолиниях основано на интерполяции данных между эмпирическими точками и экстраполяции картируемой информации на периферию. Допускается, что наблюдаемые в точке (m) и в близлежащих точках значения исследуемых метеорологических характеристик тесно скоррелированы. Так как картируемая переменная положительно автокоррелирована на малых расстояниях, между точками можно построить непрерывную поверхность. Степень пространственной непрерывности регионализированной переменной выражается вариограммой. При наличии данных в рассеянном множестве точек и известной форме вариограммы независимое значение метеорологической характеристики нами оценивается в любой точке, не принадлежащей выборке (Z). В качестве критерия оценки принят крайинг [9, 10].

В качестве основного критерия построения ГИС выдвинуто требование обеспечить возможность оценки снеговых и ветровых нагрузок, температурных воздействий на строительные конструкции, как одновременно, так и отдельно по каждому климатическому воздействию. Разрабатываемая ГИС должна допускать развитие, воз-

мощность добавления климатических воздействий в последующем, например, гололедно-изморозевых отложений и др. Построение ГИС осуществляется послойно, где каждое из климатических воздействий представлено соответствующей картой районирования, растровой или векторной. Для удобства расчетов целесообразно использование спутниковых карт, например, разрабатываемых Google и др. В обязательном порядке необходима адаптированная цифровая модель рельефа в качестве самостоятельного слоя для решения аналитических задач, связанных с использованием в расчетах высоты местности. Учитывая, что для различных задач, связанных с проектированием, строительством, реконструкцией, эксплуатацией зданий и сооружений, дифференцированно по видам строительства, срокам службы строительных объектов, могут быть востребованы данные за различные периоды повторяемости. В связи с этим, для разрабатываемой ГИС приняты следующие периоды повторяемости (лет): 10, 30, 50, 100.

Разработан пользовательский интерфейс в соответствии с требованиями к системе и ролями пользователей. Главное пользовательское меню включает категории: файл, климатические воздействия, период повторяемости, справка. Здесь есть возможность сохранения, экспорта, печати информации, выбора климатических воздействий и периодов повторяемости (рисунок 5).

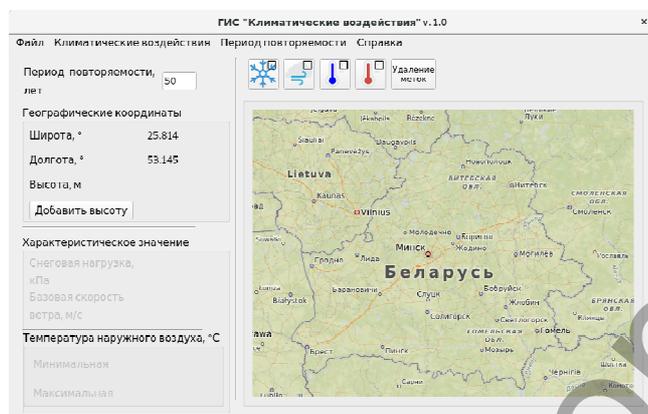


Рисунок 5 – Стартовое окно системы (пользовательский интерфейс)

Для визуализации географических данных в приложении используется динамическая карта. Проект **OpenStreetMap (OSM)** предоставляет свободные карты всего мира и дает возможность пользователям из различных стран вносить свои коррективы, это возможно средством загрузки своих GPS-треков или ручной обрисовки спутниковых снимков: Bing (весь мир), IRS (запад России), SPOT4 (восток России) и SPOT (Беларусь) от Космоснимки.ру, ASTER (Россия), OrbView-3. В то же время следует учитывать, что OpenStreetMap сам по себе не предназначен для трассировки (обрисовки) спутниковых снимков. Его основу составляют GPS-треки, записанные и отредактированные разработчиками различных ГИС, а снимки применяются как вспомогательный материал при разработке собственных карт. OSM использует datum WGS-84 (EPSG:4326), а лицензия на сами данные позволяет использование предоставляемых картографических данных в собственных проектах. Качество трассировки спутниковых снимков в проекте OSM сопоставимо в сравнении с картографическими материалами проекта Google Maps.

Для поддержания актуальности используемого картографического материала, учета изменений, вызванных антропогенным вмешательством, система предусматривает постоянную корректировку. На текущий момент в системе реализован один источник геоданных: сервис публичнодоступных непрерывно редактируемых карт, предоставляемых в реальном масштабе времени интернет-ресурсом <http://openstreetmap.org>. Для визуализации географических данных в приложении используется динамическая карта.

Один из способов импортировать полученные данные в приложение ГИС – использование специальных программных модулей расширения, разработанных для конкретной ГИС. Например, для коммерческой ArcGIS существует программное расширение <http://esri.com/arcgis/extensions/codeplex.com>,

[\(http://qgis.org/\)](http://qgis.org/) аналогичное расширение, а для свободной OSM QuantumGIS plugin входит в стандартный комплект. Эти программные расширения способны работать с файлами по преимуществу в XML-формате, что отрицательно сказывается на скорости импорта участков карты, покрывающих значительную площадь.

Другой распространенный способ работы с данными OSM – их экспорт сначала в реляционную СУБД, поддерживающую работу с географически-привязанной информацией (примером может служить PostgreSQL с установленным расширением PostGIS), а затем извлечение нужной информации из базы данных средствами приложения ГИС. Свободные программы импорта в реляционную СУБД (Osmosis, impost и др.) способны работать с картографическими данными в бинарном формате PBF, что намного ускоряет процесс импорта по сравнению с XML форматом, позволяет производить фильтрацию исходных данных по заданным пользователем критериям [11].

Для разработки ГИС-приложения был выбран объектно-ориентированный язык высокого уровня C++. Проект был разработан в кросс-платформенной среде Qt Creator 4.6.2, базирующегося на Qt 5.11.0 (GCC 8.1.1 20180531, 64 bit) с использованием декларативного языка QML.

Qt Creator позволяет разрабатывать приложения на платформах Linux, Mac OS X и Windows. Он интегрирован с кроссплатформенными системами автоматизации сборки: qmake и Cmake. Кроме этого, Qt Creator состоит из графического интерфейса отладчика и визуальных средств разработки приложения.

Qt Creator представляет большой набор виджетов (Widget): кнопки, переключатели, checkbox и другие – которые позволяют обеспечить стандартный функционал пользовательского интерфейса. Кроме этого, поддерживается механизм drag&drop, пользовательское и контекстное меню [12]. При разработке пользовательского интерфейса нами была выбрана модель Gnome GUI [13].

При запуске геоинформационной системы центр карты помещается в точку с координатами (52.85824; 27.701393) с коэффициентом масштабирования 5 и типом карты «схема». Результат работы представлен на рисунке 6.

Система позволяет выбрать один из видов климатических воздействий (несколько видов) на строительные конструкции для визуализации пространственных данных, соответствующих расчетному периоду повторяемости, например, 50 лет.

Расчет снеговых нагрузок осуществляется согласно ТКП EN 1991-1-3-2009 [1] с использованием зависимостей, приведенных в таблице 4. Получение альтитуды происходит с помощью карты высот интернет-ресурса Google (google.com), встроенной в разработанную ГИС. Результаты расчета представлены на рисунке 1.

Определение ветровых нагрузок осуществляется ТКП EN 1991-1-4-2009 [2]. В основу определения скорости ветра в любой географической точке положен алгоритм вычислительной геометрии анализа принадлежности точки полигону. Алгоритм реализуется путем подсчета количества пересечений луча, исходящего из данной точки в направлении горизонтальной оси, со сторонами многоугольника, если оно четное, точка не принадлежит многоугольнику. В реализации алгоритма луч направлен влево.

Расчет температурных воздействий производится согласно ТКП EN 1991-1-5-2009 [3]. При вводе соответствующих координат происходит расчет уровня температурных воздействий с помощью интерполяции значений между ближайшими изолиниями (рисунки 3, 4). При расчете температурных воздействий используется линейная интерполяция (частный случай интерполяционной формулы Лагранжа и интерполяционной формулы Ньютона). В данном алгоритме требуется провести обычную линейную интерполяцию сначала в одном направлении, затем в перпендикулярном. Формула билинейной интерполяции возвращает значения функции в произвольном прямоугольнике по четырем её значениям в вершинах прямоугольника и экстраполирует функцию на всю остальную плоскость. Кроме этого, также используется алгоритм линейной экстраполяции.

Система дает возможность пользователю одновременно определить комплекс параметров, характеризующие климатические воздействия, выбрав соответствующее масштабирование и установив метку в нужной точке. Возможен ввод координат вручную. Результаты оценки приведены на рисунке 6.

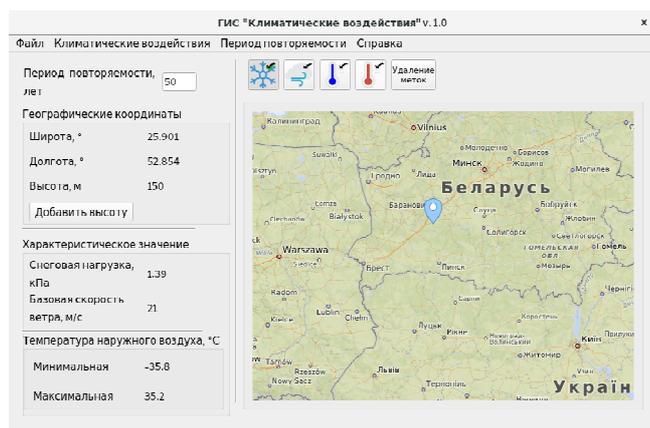


Рисунок 6 – Оценка климатических воздействий в заданной точке

Заключение. В ходе разработки ГИС выявлены закономерности пространственно-временного распределения на территории Республики Беларусь метеорологических характеристик, оказывающих влияние на строительные конструкции; установлены факторы и причины, вызывающие изменения климатических воздействий; разработана методика оценивания прогнозных экстремальных климатических воздействий; уточнены характеристические значения снеговых и ветровых нагрузок, температурных воздействий на конструкции зданий и сооружений; разработаны критерии ГИС, выполнено районирование нормируемых климатических воздействий для территории Республики Беларусь; разработана ГИС, дающая возможность назначать характеристические значения климатических воздействий, включающая интерактивную многослойную карту, позволяющую применительно к месту строительства с достаточным разрешением его географических координат, основываясь на физико-географических характеристиках региона назначать снеговые и ветровые нагрузки, температурные воздействия.

Результаты разработки ГИС могут быть использованы при проектировании, строительстве, реконструкции и ремонте строительных конструкций зданий и сооружений, установлении базовых принципов и правил проектирования конструкций зданий и сооружений различного назначения с учетом современных климатических колебаний. Основными потребителями продукта разработок являются организации, входящие в структуру Министерства строительства и архитектуры Республики Беларусь.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еврокод 1 : Воздействия на конструкции. Часть 1-3: Общие воздействия. Снеговые нагрузки : ТКП EN 1991-1-3-2009 – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009.
2. Еврокод 1 : Воздействия на конструкции. Часть 1-4: Общие воздействия. Ветровые воздействия : ТКП EN 1991-1-4-2009 – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009.
3. Еврокод 1 : Воздействия на конструкции. Часть 1-5: Общие воздействия. Температурные воздействия : ТКП EN 1991-1-5-2009 – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009.
4. Миронова, Ю. Н. Геоинформационные системы / Ю. Н. Миронова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – Москва – 2014. – № 3 (62). – Ч. 1. – С. 63–65.
5. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях : ТКП 17.10-42-2009 (02120) – Минск : Минприроды, 2009.
6. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорологическая деятельность. Правила организации наблюдений на реперных климатических станциях : ТКП 17.10-42-2014 (02120) – Минск : Минприроды, 2014.
7. Валуев, В. Е. Современные подходы к оценке температурных воздействий на конструкции зданий и сооружений / В. Е. Валуев, О. П. Мешик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2010. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 62–65.
8. Тур, В. В. Опыт районирования территории Беларуси по снеговым нагрузкам / В. В. Тур, В. Е. Валуев, С. С. Дереченник, О. П. Мешик // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2008. – № 2(50). – С. 10–15.
9. Дэвис, Дж. С. Статистический анализ данных в геологии / Дж. С. Дэвис; под ред. Д. А. Родионова. – Москва : Недра, 1990. – Кн. 2. – 427 с.
10. Валуев, В. Е. Специфика пространственного распределения на территории Беларуси опасных метеорологических явлений в контексте анализа поверхностной тренда / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик, И. Н. Шпока // Вестник БрГТУ. – № 2(74) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – С. 8–14.
11. Структура данных проекта OpenStreetMap, заглянем под юбку сервису / habr – Режим доступа : <http://habrahabr.ru/post/146503/>.
12. QML (Qt Meta-Object Language) // Национальная библиотека им. Н. Э. Баумана. – Режим доступа : [https://ru.bmstu.wiki/QML_\(Qt_Meta-Object_Language\)](https://ru.bmstu.wiki/QML_(Qt_Meta-Object_Language)).
13. Руководство по проектированию пользовательского интерфейса GNOME // GNOME Developer – Режим доступа : <https://developer.gnome.org/hig/stable/>.

Материал поступил в редакцию 10.04.2019

TUR V. V., MESHYK O. P., DERECHENNIK S. S., CHARNAIVAN H. V., MARKINA A. A. Experience in developing a GIS application for pre-termining climate impacts on buildings and structures

The article presents the results of developing a GIS application designed for the construction industry of Belarus. It is an interactive multi-layer map which allows users to assign characteristic values to climatic influences that affect building structures. These include snow and wind loads, temperature effects.

УДК 556.565

Сысыев В. В., Пузаченко М. Ю.

ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТИ, ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХОВОГО БОЛОТА

Введение. Верховые болота регулируют водный режим окружающих территорий, являются природными резерватами специфической фауны и флоры, обеспечивают сток углерода из атмосферы.

При достижении определенной формы и размеров, болотный массив начинает развиваться как автономная самоподдерживающаяся структура. Верховые болота в разных климатических условиях обла-

Сысыев Владислав Васильевич, д. геогр. н., профессор географического ф-та Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, e-mail: v.v.syss@mail.ru.

РФ, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1.

Пузаченко Михаил Юрьевич, к. геогр. н., старший научный сотрудник Института географии Российской академии наук, e-mail: puzak@bk.ru

РФ, 119017, г. Москва, Старомонетный переулоч, 29.