

**Боженко А. Л.,**  
ведущий специалист кафедры качества,  
стандартизации и техногенно-экологической безопасности,  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы, г. Николаев, Украина

**Зюляев Д. Д.,**  
аспирант кафедры экологии и природопользования,  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы, г. Николаев, Украина

**Кубов В. И.,**  
канд. техн. наук, доцент,  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы, г. Николаев, Украина

## РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТЬ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

*Дан анализ репрезентативности данных по вариациям температуры, полученных в городских условиях (г. Николаев). На экспериментальном комплексе ЧГУ им. Петра Могилы проведены измерения температуры датчиками, которые расположены в разных условиях. Установлено, что даже самые затенённые датчики на территории ЧГУ показывают иную температуру, чем метеостанция за городом. Дана оценка степени влияния способа размещения термометра на значение измеренной температуры. Сформулированы критерии выбора значения температуры внешней среды по результатам измерения.*

*температур в нескольких точках.*

**Ключевые слова:** репрезентативность данных; температура; городская окружающая среда.

**Постановка проблемы.** Измерение температуры важно по разным причинам. На кратковременных интервалах оно даёт информацию о погоде в повседневной жизни, на долгосрочных интервалах обеспечивает мониторинг температурных особенностей данной географической точки, что используется в метеорологии, климатологии, экологии и т. д. Немаловажную роль температура внешнего воздуха играет для определения условий отопления, что приобрело особую актуальность в условиях экономии энергоресурсов.

Воздух атмосферы пропускает солнечные лучи к земной поверхности, однако именно он этими лучами не прогревается. Нагревается Солнцем земная поверхность, а потом от нее воздух. По-этому, чем дальше от земной поверхности, тем становится холоднее. В городе, при обилии нагреваемых поверхностей на разных этажах (плюс теплотрассы, транспорт и прочее), прогрев воздуха приобретает своеобразный характер, а учесть все факторы очень сложно.

На метеорологических станциях для получения точных температур воздуха термометр помещают в специальной будке с решётчатыми стенками, которую устанавливают на высоте 2 м от земли. Это позволяет воздуху свободно проникать в нее, вместе решетки защищают термометр от попадания солнечных лучей. Показатели термометра записывают каждые 3 часа. Дополнительные необходимые условия: ровная площадка естественной земли (или газона) размером 26 × 26 м, отсутствие загромождающих объектов,

домов, деревьев и высоких кустарников в радиусе 200–300 м и т. д. [1]. В городе выполнение этих условий затруднительно, хотя пользоваться данными близлежащих метеостанций тоже не представляется выходом из ситуации. Спутниковые наблюдения тоже не годятся, поскольку наблюдать за городской температурой они могут только через определенные интервалы времени.

**Анализ первоисточников.** Проблему измерения ветра и температуры, как на загородной метеостанции, может решить размещение автоматических датчиков на самой высокой башне или подобном объекте. Например, в Москве такие датчики расположены на Останкинской башне [2]. Другое дело, что не во всех городах есть подобные сооружения, исключением не является и г. Николаев. Кроме того, уже упоминалось, что температура на такой башне будет отличаться от реальной температуры во многих уголках города на высоте человеческого роста.

Даже официальными наставлениями гидрометслужбы, допускаются отклонения по температуре в различных точках населенного пункта в 2 °С, а в крупных мегаполисах – до 5 °С. В условиях крупного города разница температуры измеренная в разных районах города в условиях отсутствия интенсивного переноса воздушных масс (антициклон, штиль) может достигать и больших величин. Так, например, в Новосибирске, где в городе и в ближайших окрестностях находится 5–6 постоянно действующих государствен-

ных метеорологических станций, можно наблюдать разницу в измерениях ими температуры в одно и тоже время, более чем в 10 °С. За городом, где как правило и расположены метеостанции, температура тоже может существенно отличаться от «городской» на 5, а то и 10 °С, в зависимости от других погодных условий. Например, разница на городских и пригородных станциях России в ночное время достигает 5–7 °. Таким образом разницу в 2–5 °С между различными станциями и датчиками можно считать нормальной и в какой-то мере приемлемой [1]. Кроме того, для многих городов характерно наличие зон с температурой, постоянно более высокой, чем в окрестностях, что называется «эффектом теплового острова» [6].

В США описанную проблему решили, создав Citizen Weather Observer Program, которая предполагает мониторинг не только температуры, но и некоторых других метеорологических характеристик частными метеостанциями разного типа, которые граждане устанавливают в подконтрольных им местах и самостоятельно обслуживают. Для калибровки таких измерительных приборов предлагается сверка своих данных с данными официальной метеослужбы США, представленными на сайте программы. Туда же после калибровки соучастник закачивает свои данные, что позволяет создавать намного более детализированные карты погоды на наблюдаемой территории, чем это могут обеспечить только официальные мониторинговые посты, финансируемые из государственного бюджета. Подобный метод подходит для всех стран, и в нашем исследовании измерительные приборы тоже калибровались по данным местной метеостанции и регулярно сверяются с ней [3].

Группа исследователей из Urban Center for Computation and Data при Университете Чикаго разработала проект «Array of Things». В режиме реального времени тысячи сенсоров будут собирать данные о городской среде, в том числе, температуру. Сенсоры расположены на электрических столбах на высоте примерно в два раза выше человеческого роста, что решает проблему вандализма. [4]. Конечно, непродолжительность измерений и отсутствие информации о приборах и их установке сводит ценность наблюдений практически к нулю, однако в работе [5] показано, что с помощью процедуры приведения коротких рядов к длинным по станциям-аналогам возможно восстановление сезонных и среднегодовых температур (в городе Мурманске удалось восстановить температурные ряды за период 1802–1934 гг). Это позволяет значительно удлинить существующий ряд и более эффективно проанализировать его.

**Цель статьи.** Цель данной статьи – проанализировать репрезентативность (соответствие характеристик выборки характеристикам генеральной совокупности в целом) данных по вариациям температуры, полученных в городских условиях, оценить степень влияния способа размещения термометра на значение измеренной температуры, сформулировать критерии выбора значения температуры внешней среды по результатам измерения температур в нескольких точках. При этом стоит оговорить, что географическое расположение ЧГУ им. Петра Могилы не предполагает наличия в этом месте городского острова тепла.

**Экспериментальный комплекс ЧГУ им. Петра Могилы.** С 2011 года в Черноморском государственном университете находится в опытной эксплуатации комплекс средств контроля параметров окружающей среды. Этот комплекс состоит из ряда микропроцессорных серверов, оснащенных внешними датчиками, и объединенных в компьютерную Ethernet-сеть университета. В частности, эта сеть включает в себя датчики температуры, установленные внутри помещений, на трубах системы отопления, и вне сооружений, для контроля температуры внешней среды. Отследить температуру на этих датчиках можно на сайте <http://old.chdu.edu.ua/>. Для этого в правом верхнем углу главной страницы нужно кликнуть на ссылку «Температура в аудиториях», затем «Графики температур», и задать в соответствующих формах дату и датчики, в разных комбинациях или сразу все. Нажав иконку «График», мы получаем визуальное отображение динамики температуры для заданных параметров.

Ниже приведены примеры вариаций температуры окружающей среды (рис. 1, 2).

Датчики температуры расположены на территории Черноморского государственного университета (город Николаев) и на внешней стене жилого здания:

Ts – «температурный домик» на крыше университета вблизи солнечных батарей.

T2 – задняя поверхность панели электрически нагруженной солнечной батареи на крыше университета.

Tv – над окном вентиляционного помещения с северо-западной стороны 4-этажа здания университета, на расстоянии 1 метр от внешней стены, вблизи солнечных батарей.

Tk – средняя часть оконного проема котельной во дворе университета.

Th – верхняя часть оконного проема с юго-западной стороны 9-этажа жилого здания, удаленного от университета на Восток примерно на 1 километр.

На всех графиках самая высокая температура днем, и самая низкая температура ночью. На поверхности солнечной батареи – самый интенсивный радиационный теплообмен (днем с солнцем, а ночью с холодным небом). Самые низкие температуры наблюдаются на затененных датчиках.

Когда датчики попадают под прямое солнечное облучение, температура подскакивает минимум на 5 °С. Яркий пример – на графике рис. 2. Затененный датчик на оконном проеме освещается солнцем менее часа около полудня. А датчик на 4 этаже с северной стороны освещается солнцем летом при восходе и заходе солнца, которое в этот период восходит на северо-востоке, а садится на северо-западе. Аналогичное явление отмечается, когда низкое солнце освещает датчик в верхней части оконного проема 9-этажа (летом датчик находится в тени оконного проема).

Температуры датчиков в оконных проемах вблизи стен, как правило, выше, чем датчиков удаленных от стен. Соответствующее превышение может достигать 5 °С. Это существенно при определении критериев включения – отключения отопления. Температура датчика на крыше в затененном и продуваемом ветром «температурном домике» близка к значениям

минимума температур, но несколько выше его. Величина превышения минимума, как правило, менее 5 °С. Т. е. «температурный домик» достаточно эффективно

выполняет функцию экранировки температурного датчика от прямого солнечного излучения.

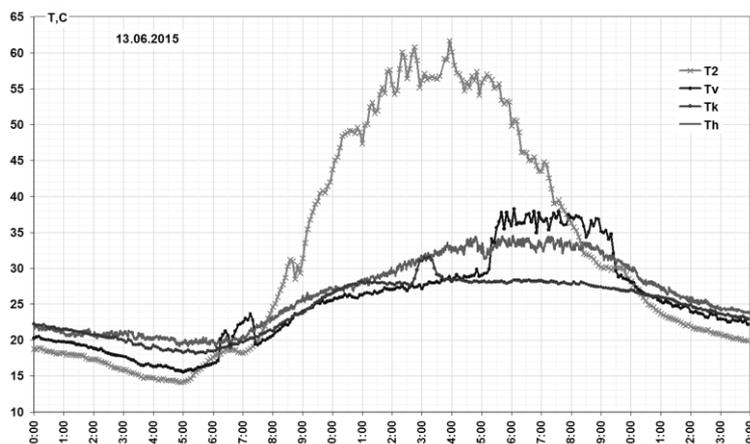


Рис. 1. Примеры вариаций температуры окружающей среды в солнечный день (13.06.2015)

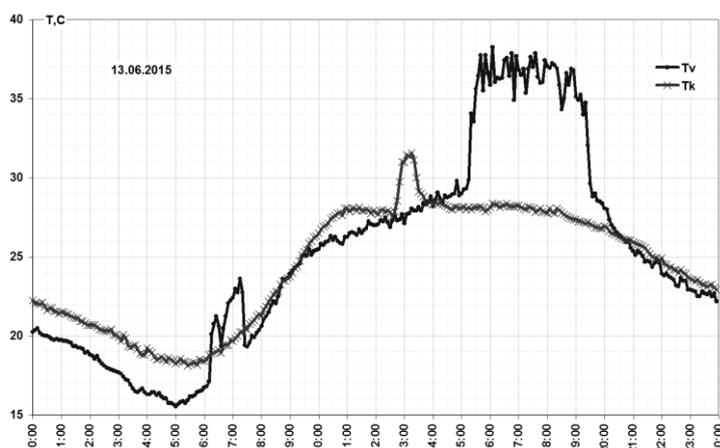


Рис. 2. Всплески температуры при прямом освещении датчиков температуры вентиляционной и котельной солнцем (13.06.2015)

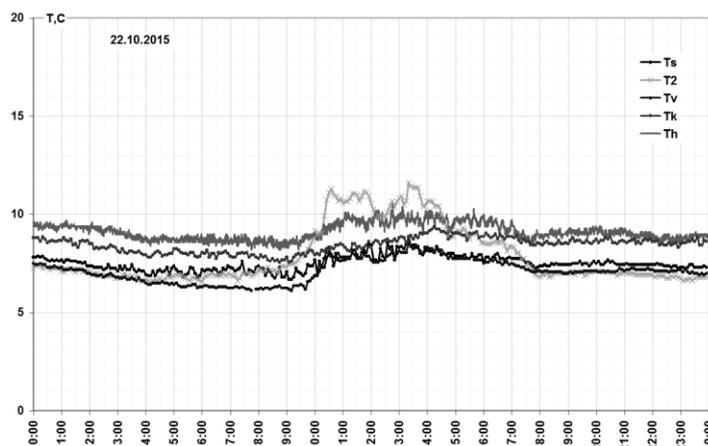


Рис. 3. Примеры вариаций температуры окружающей среды в пасмурный день (22.10.2015)

Напрашивается вывод, что для оценок температуры надо использовать данные с затененных датчиков, или в крайнем случае с домиком для термометра, удаленного на большое расстояние от поверхностей сооружений (у нас поднят над крышей примерно на 3 метра). Следует отметить, что хотя вышеуказанный датчик и соответствует официальным требованиям для метеостанций в наибольшей степени, расположен он на крыше, что в данном регионе значительно отли-

чается по температуре от датчика, который был бы расположен на высоте 3 м от земли.

Для комбинации датчиков, с учетом наших реалий, в качестве температуры внешней среды выбиралась минимальное из значений температур внешних датчиков в ЧГУ.

На рис. 4а приведено скользящее усреднение температур на двухгодичном интервале, на рис. 6, 7 – скользящее усреднение на соответствующих интерва-

лах летом и зимой. Красные кривые – среднечасовые значения, черные кривые – скользящее среднесуточное (скользящее усреднение на 24 часах). На рис. 4б для сравнения со скользящим усреднением по нашим данным изображены среднемесячные температуры для г. Николаев согласно ГСТУ «Строительная климатология» [7].

Разница между данными кривой наших данных и данных ГСТУ на рис. 4б составляет около 6°C. Если

сравнивать максимумы, то временами даже самые охлаждённые датчики на территории ЧГУ всё равно показывают более высокую температуру, чем за городом. Вместе с тем, мы наблюдаем значительно более холодную температуру на датчиках ЧГУ, чем на данных официальных измерений, в морозные дни. Также можно отметить, что на рис. 4 хорошо виден сезонный ход температуры: постепенное повышение к лету и падение к зиме.

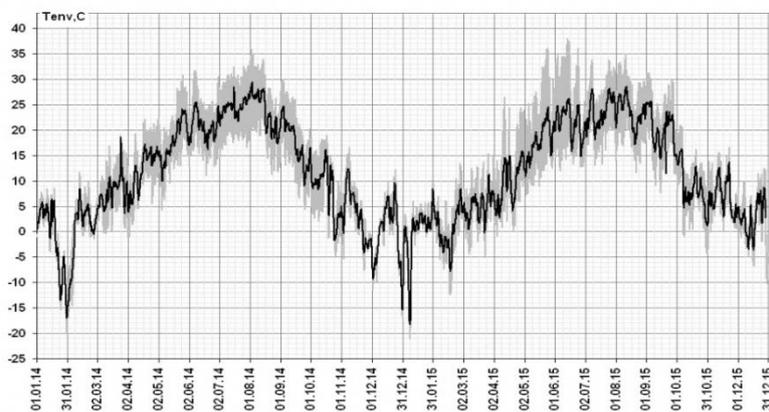


Рис. 4а. Скользящее усреднение минимальной температуры улицы по измерениям двух датчиков на двухгодичном интервале (2014–2015 гг.)



Рис. 4б. Скользящее усреднение минимальной температуры улицы по измерениям двух датчиков и данным ГСТУ на двухгодичном интервале (2014–2015 гг.)

Далее приведены примеры изменений температур в ЧГУ летом и зимой (рис. 5, 6). Красные кривые – среднечасовые значения, черные кривые – скользящее среднесуточное (скользящее усреднение на 24 часах).

На рис. 5 мы видим, что летом чётко выражен регулярный суточный ход колебаний температуры – резкое значительное повышение температуры днём. Зимой же (рис. 6) температура днём и ночью отличается намного меньше, и здесь доминируют нерегулярные колебания.

На рис. 7 изображены среднеквадратичные отклонения от среднесуточных температур. Они отложены на оси симметрично по обе стороны от нуля, чтобы соответствовать естественной природе колебаний. Черные кривые – среднеквадратичные значения отклонений от среднесуточных значений (скользящее усреднение квадратов отклонений на суточном интервале). Зимой отклонения от среднесуточных значений меньше, т. е. регулярные суточные вариации малы и доминируют нерегулярные межсуточные вариации.

На рис. 4–6 прорисовывается некая видимость присутствия неявной повторяемости изменений тем-

пературы в каждом конкретном месяце. Такая повторяемость должна наблюдаться в частотных спектрах вариаций температур. По-этому было решено проанализировать частотные спектры температур для 2014–2015 годов (рис. 8). На рис. 8 вертикальная шкала – амплитуда вариаций температуры в градусах Цельсия в логарифмическом представлении, горизонтальная шкала – частота колебаний во времени в единицах, привязанных к одним суткам (1 Hz шкалы соответствует 1/сутки).

Суточная амплитуда в среднем составляет 3 °C (размах 6 °C), сезонная значительно больше – 10 °C (размах 20 °C). Годовые колебания температуры имеют синусоидальный характер (максимум летом, минимум зимой). Суточные вариации существенно отличаются от синусоиды более резким подъёмом кривой в утренние часы, по-этому в спектре присутствуют гармоники суточной частоты (2-я, 3-я, 4-я и т. д. гармоники). Над выраженными спектральными пиками обозначены периоды повторения в сутках.

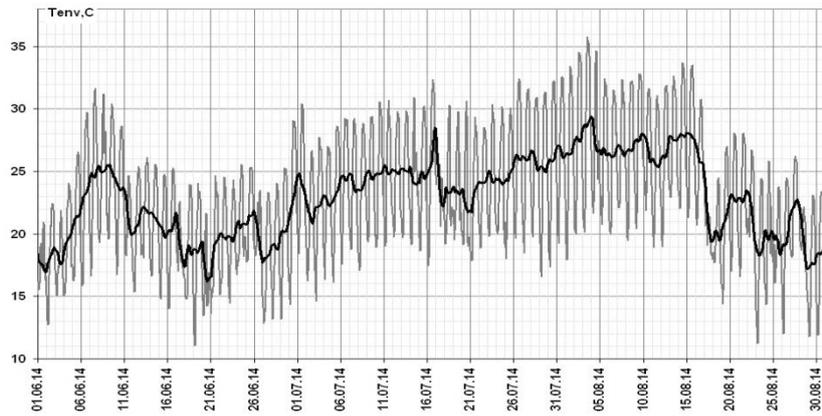


Рис. 5. Колебания температуры летом 2014 г.

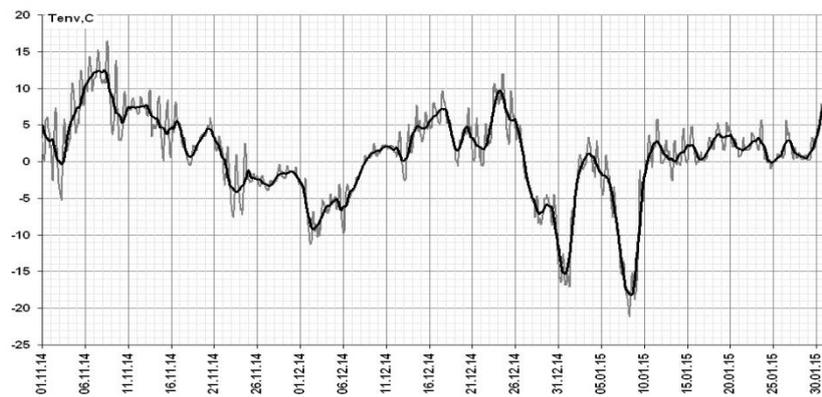


Рис. 6. Колебания температуры зимой 2014–2015 гг.

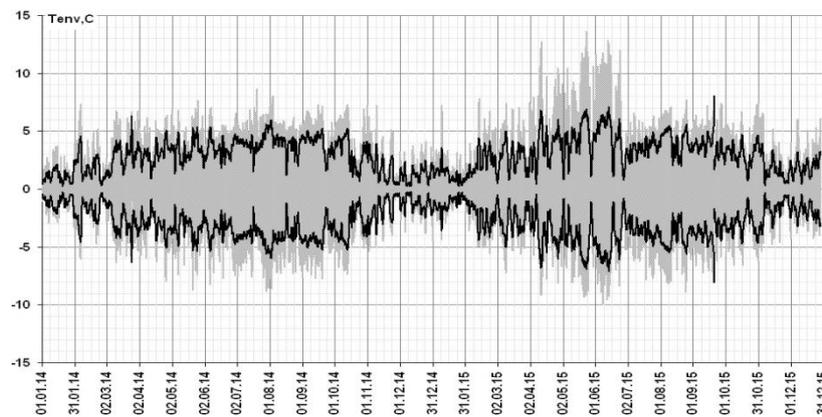


Рис. 7. Отклонения от скользящих среднесуточных значений. Интервал 2014–2015 гг.

Таким образом, в спектрах обнаруживается достаточно явно только частоты годового и суточного хода. По-этому было решено исключить суточные вариации путем скользящего усреднения на суточном интервале (рис. 9), и снова посмотреть спектры за соответствующий период. После скользящего усреднения осталась составляющая годового хода и сильно ослабленная суточная составляющая. При сильном желании можно выделить составляющие с повторяемостью от 4 до 100 дней, но явной повторяемости с постоянным периодом обнаружить не удалось.

**Выводы.** 1. Сведения о температуре, которые мы получаем из новостных каналов, часто переоцениваются в бытовом использовании, так как температура зависит от того, в каких условиях находится термометр. По этой причине актуальны локальные измере-

ния температур. 2. На экспериментальном комплексе ЧГУ им. Петра Могилы проведены измерения температуры датчиками, которые расположены в разных условиях. Предлагается в качестве оценки температуры внешней среды в условиях городской застройки использовать минимальное из показаний термометров, находящихся в затенённом месте. 3. Установлено, что в городских условиях, в частности, на территории ЧГУ, датчики могут показывать температуру, существенно отличающуюся от показаний метеостанции за городом (в среднем около 5–6 °С), что является естественным ограничением. 4. Остаётся нерешённой проблема, что именно воспринимается как температура в данной географической точке. Следует учитывать реальный контекст, в котором используется этот термин.

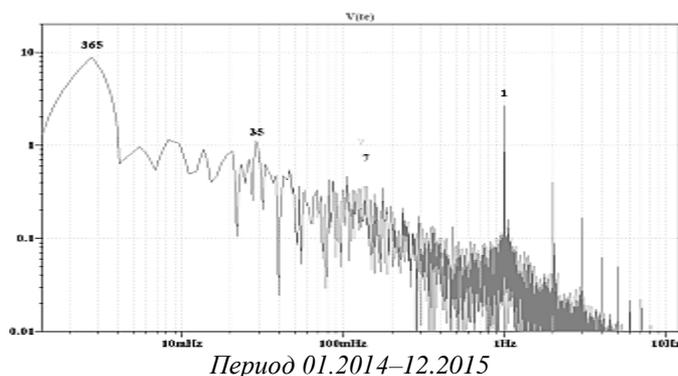


Рис. 8. Спектральные характеристики изменений температуры

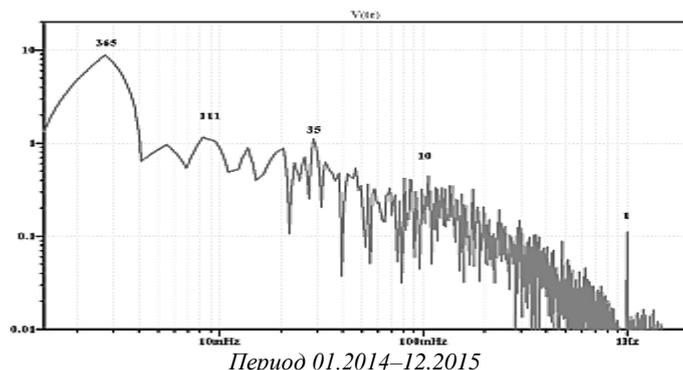


Рис. 9. Спектральные характеристики изменений температуры после скользящего усреднения по суткам

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Метеорологический сайт г. Томск, Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://imeteo70.ru/parametr.html>.
2. Метеорологический сайт г. Москва, Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mosecom.ru/air/>.
3. Сайт Citizen Weather Observer Program [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.wxqa.com/index.html>.
4. Сайт проекта Array of Things [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://arrayofthings.github.io/>.
5. Демин В. И. Изменения температуры воздуха в Мурманске с начала XIX века [Электронный ресурс] / В. И. Демин, А. Р. Андиферова, О. И. Мокротоварова // Вестник Кольского научного центра РАН. – Выпуск № 1(20). – 2015. – г. Кола. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-temperatury-vozdusha-v-murmanske-s-nachala-xix-veka#ixzz43u8Dzbjq>.
6. Маринин И. Л. Некоторые оценки характеристик острова тепла г. Одесса / И. Л. Маринин, О. Р. Драничер // Украинський гідрометеорологічний журнал. – 2013. – № 12. – С. 54–61.
7. Строительная климатология. ГСТУ-Н Б В.1.1-XXX:201X.

А. Л. Боженко, Д. Д. Зюляев, В. І. Кубов,  
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

#### РЕПРЕЗЕНТАТИВНІСТЬ ЗНАЧЕНЬ ТЕМПЕРАТУРИ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В МІСЬКИХ УМОВАХ

Наведений аналіз репрезентативності даних з варіацій температури, отриманих в міських умовах (м. Миколаїв). На експериментальному комплексі ЧДУ ім. Петра Могили здійснено вимірювання температури датчиками, які розміщені в різних умовах. Встановлено, що навіть найбільш затінені датчики на території ЧДУ показують температуру, відмінну від тої, що дає метеостанція за містом. Надано оцінку ступеню впливу способу розміщення термометра на значення вимірної температури. Сформульовано критерії вибору значення температури зовнішнього середовища за результатами вимірювання температур в декількох точках.

**Ключові слова:** репрезентативність даних; температура; міське оточуюче середовище.

A. Boshenko, D. Zuliyaev, V. Kubov,  
Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolayiv, Ukraine

#### REPRESENTATIVENESS OF AMBIENT TEMPERATURE DATA IN URBAN AREA

The analysis of data from temperature variations obtained in urban area (Mykolayiv) is given. In the university experimental complex sensors for temperature measurement were placed in different conditions. It was found that even the most shaded sensors on the territory show temperature different from the one that is given by the weather station in the suburbs. The degree of influence that placement has on the measured temperature is assessed. Criteria to select the most representative ambient temperature data row of those measured at several points are given.

**Key words:** data representativeness; ambient temperature; urban environment.