

Инженерное оборудование зданий и сооружений

УДК 697.34

DOI: 10.14529/build160208

КРАТКОСРОЧНОЕ ЛОКАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОГОДЫ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

А.А. Февралев^{1,2}, Ю.С. Приходько²

¹ ЗАО «РИДАН», г. Челябинск

² Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

В рамках решения задачи повышения эффективности автоматизации управления системой отопления предложена адаптивная модель для краткосрочного локального прогнозирования погоды. Модель построена на трех основных факторах: влияние статистических данных для данной местности за последние несколько лет, влияние солнечной радиации, температурные изменения, связанные со смещениями воздушных масс. Также при построении модели использовались методы экспоненциального сглаживания для числовых временных рядов. Дополнительно данная модель обладает высокой способностью к адаптации, для каждого из основных факторов применяются коэффициенты влияния, которые постоянно улучшаются и уточняются на основе анализа работы модели. С помощью описанной методики проведён численный эксперимент для г. Челябинска за период длительностью 10 дней. По результатам моделирования среднее квадратичное отклонение составило не более 0,3 °С, максимальная ошибка прогнозирования не превышает 1,8 °С.

Ключевые слова: Моделирование, прогнозирование погоды, эффективность системы отопления, температура наружного воздуха.

Введение

На сегодняшний день проблема эффективного теплоснабжения стоит особо остро. Система отопления является ключевым моментом при решении данной проблемы. С учетом высокой инерционности здания сведения о динамике изменения параметров внешней окружающей среды являются крайне необходимыми. Соответственно при решении задачи более эффективного отопления здания, имея локальный краткосрочный прогноз об изменениях температуры наружного воздуха на ближайшие несколько часов, возможно значительно сократить потребление тепловой энергии. В данной работе разработана математическая краткосрочная локальная прогностическая адаптивная модель краткосрочного изменения температуры наружного воздуха. Модель построена на основании трех составляющих: статистические данные, учет стандартных суточных колебаний и экспоненциальное прогнозирование с учетом влияния атмосферного давления.

1. Описание математической модели

Алгоритм для данной модели можно разделить на три основные составляющие:

Первая составляющая – анализ погоды в данной местности. Среднённые температуры на

протяжении дня за последние несколько лет дают общее представление о характере погоды на основе суточных и сезонных колебаний температуры. Большой объём анализируемых данных позволяет минимизировать случайные температурные отклонения и климатические аномалии, не проявляющие себя закономерно.

$$t_{st} = \sum_{i=1}^n t_i / n, \quad (1)$$

где t_{st} – статистическая часть результирующей температуры, t_i – температура в определённый год в тот же момент времени, n – количество лет, взятых для анализа.

Вторая составляющая – прогноз погоды с учетом ежедневных процессов смены дня и ночи. Влияние солнечной радиации зависит от угла падения лучей, состояния атмосферы и качества принимающей поверхности. Изменение угла падения лучей, в свою очередь, соответствует изменению их угла скольжения по отношению к поверхности земли и зависит от синуса этого угла. Введём 24 коэффициента для каждого часа, рассчитанных по следующей формуле:

$$t_{rad} = A_{\tau_i} \sin((\tau - \tau_m) \cdot 2\pi/24), \quad (2)$$

где t_{rad} – радиационная составляющая результирующей температуры, τ – текущее время, τ_m – время восхода солнца, A_{ti} – адаптивный коэффициент, собственный для каждого часа, подбираемый по мере совершенствования модели. При первом расчёте принимается равным 1 для каждого часа.

Для расчета восхода солнца используется следующая упрощенная методика:

$$h = \arccos[-\tan(f) \cdot \tan(D)], \quad (3)$$

где h – часовой угол, f – локальная широта (для Челябинска $55^{\circ}09'44''$ с.ш.), D – склонение солнца.

$$D = 23.45^{\circ} \cdot \sin\left[\frac{360 \cdot (d-81)}{365}\right], \quad (4)$$

где d – день года (1 января $d = 1$).

Третья составляющая – изменения, связанные со сменой сезонов и смещением воздушных масс. Можно различить изменения, протекающие медленно, связанные с перемещением воздушных масс внутри одного погодного фронта, и изменения, протекающие быстро, вследствие смены погодных фронтов. Медленные изменения поддаются прогнозированию путём экспоненциального сглаживания и нахождения экспоненциальной средней.

$$t_{scnext} = (t_{re} - t_{rad}) \cdot \alpha + t_{sc} \cdot (1 - \alpha), \quad (5)$$

где t_{scnext} – следующая (предсказываемая) мягкая климатическая составляющая общей температуры, t_{sc} – текущая мягкая климатическая составляющая общей температуры, t_{re} – текущая температура, t_{rad} – текущая радиационная составляющая общей температуры, α – экспоненциальный коэффициент, подбираемый по мере совершенствования модели. Показывает уровень влияния предыдущих отклонений на прогнозирование следующего. При первом расчёте принимается равным 0,7.

Быстрым изменениям предшествуют резкие колебания давления.

$$t_{hc} = \beta \cdot (P_0 - P_{prev}), \quad (6)$$

где t_{hc} – следующая (предсказываемая) резкая климатическая составляющая общей температуры, P_0 – текущее давление, P_{prev} – давление в предыдущий фиксируемый момент времени, β – степень влияния давления на перемену погоды, $^{\circ}\text{C}/\text{Па}$.

2. Итоговая прогностическая формула

$$t_{\Sigma} = A_{rad} \cdot t_{rad} + A_{s.c} \cdot t_{s.c} + A_{h.c} \cdot t_{h.c} + A_{st} \cdot t_{st}, \quad (7)$$

где t_{Σ} – результирующая температура, $t_{rad}, t_{s.c}, t_{h.c}, t_{st}$ – составляющие общей температу-

ры, $A_{rad}, A_{s.c}, A_{h.c}, A_{st}$ – коэффициенты, учитывающие влияние составляющих на результат. При первом расчёте принимаются равными 1; 0,8; 0,7; 0,1 соответственно.

Коэффициенты $\alpha, \beta, A_{rad}, A_{s.c}, A_{h.c}, A_{st}$ подбираются перебором с точностью до сотых долей таким образом, чтобы среднеквадратичное отклонение за последние семь дней было минимальным. Пересчёт производится каждые сутки.

3. Полученные результаты

на основании численного эксперимента

Математическая модель апробирована на проведенном численном эксперименте на основе анализа метеорологических данных по городу Челябинску на основании метеоданных за 2009–2014 годы, с 1 по 10 апреля.

Коэффициенты $\alpha, \beta, A_{rad}, A_{s.c}, A_{h.c}, A_{st}$ подобраны для первых восьми дней, а на девятые и десятые сутки сделан прогноз с учётом корректировки адаптационных коэффициентов.

Данные сведены в таблицу.

Результаты численных экспериментов представлены на рис. 1.

Заметим, что среднеквадратичное отклонение убывает по мере адаптации системы.

Возможности применения модели.

Заключение

Данная модель может применяться для регулирования отпуски теплоты любому потребителю, но особенно эффективна в случаях, когда потребитель обладает низкой тепловой инерцией (микроклимат объекта чувствителен к резким перепадам внешней среды):

– тонкостенные конструкции, нуждающиеся в отоплении (временные сооружения, обустраиваемые при возведении зданий);

– трубопроводы (водо- и теплопроводы, работающие при экстремальных условиях, в районе вечной мерзлоты).

Данная модель будет весьма эффективна в системах с упреждающим режимом действия. Модель сохраняет работоспособность в любом диапазоне температур и может быть использована для прогнозирования погоды в местности с жарким климатом при необходимости обеспечения эффективного холодоснабжения. Этому способствует и тот факт, что здания, возводимые в условиях жаркого климата, обладают меньшей тепловой инерционностью вследствие отсутствия мощного теплоизоляционного слоя.

Прогностические данные

Сутки	A_{rad}	$A_{s.c}$	$A_{h.c}$	A_{st}	α	β	Среднеквадратичное отклонение
1–8	0,92	0,89	–1,35	0,08	1,6	0,6	0,3294
9	0,8	0,88	–0,2	0,13	1,4	0,1	0,2884
10	0,85	0,94	–1,3	0,12	1,4	0,6	0,2465

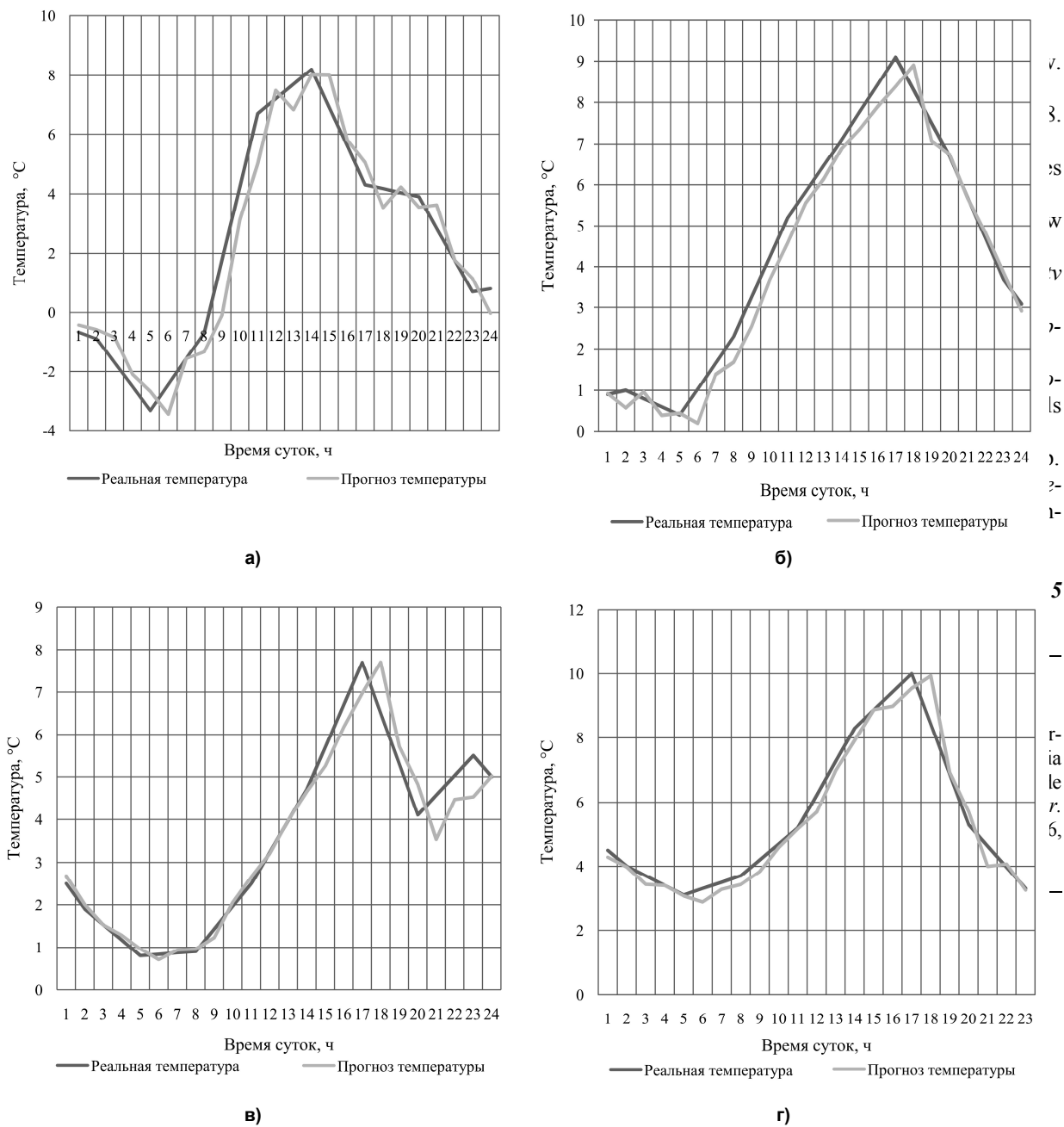


Рис. 1. Температурный график реальный и прогностический:
а – на 07.04; б – на 08.04; в – на 9.04; г – на 10.04

Литература

1. Меёс, Ж. *Астрономические формулы для калькуляторов: пер. с англ. / Ж. Меёс.* – М.: Мир, 1988. – 168 с.
2. *Архив погоды в г. Челябинске.* – <http://rp5.ru>
3. Лукашин, Ю.П. *Адаптивные методы*

краткосрочного прогнозирования временных рядов: учебное пособие / Ю.П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.

4. Астапенко, П.Д. *Вопросы о погоде. – 2-е изд., испр. и доп. / П.Д. Астапенко.* – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 392 с.

Февралев Алексей Андреевич, руководитель проектов ЗАО «РИДАН» (ведущий производитель теплообменного оборудования), преподаватель, кафедра «Теплогазоснабжения и вентиляции», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), fevral25@mail.ru

Приходько Юрий Сергеевич, студент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), prihogiko@yandex.ru

Поступила в редакцию 16 декабря 2015 г.

DOI: 10.14529/build160208

SHORT-TERM LOCAL WEATHER FORECAST IN CASE OF SOLVING A PROBLEM OF INCREASING EFFICIENCY OF HEATING SYSTEM

A.A. Fevralev^{1,2}, fevral25@mail.ru

S.Yu. Prikhodko², prihogiko@yandex.ru

¹ RIDAN CJSC, Chelyabinsk, Russian Federation

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The way to increase efficiency of automatic regulation of heating system. For this purpose developed adaptive model for short-term local weather forecast. The model based on three main factors: influence of statistics, temperature data for previous years for local area; influence of solar radiation; temperature changes associated with big displacements of air masses. Also exponential smoothing methods of numerical time series are mainly used in model. Additionally this model has a high adaption ability, for each main factor applied special influence coefficient, which are continuously improved and specified by analysis of model. Described method was used for numerical experiment in city Chelyabinsk, weather prediction was made for the period of 10 days. Results of simulation show standard deviation less 0.3 degree, and the maximum prediction error not exceed 1.8 degree.

Keywords: Math modeling, weather forecast, efficiency of heating system, external temperature.

References

1. Mejos Zh. *Astronomicheskie formuly dlja kal'kuljatorov* [Astronomical Formulae for Calculators]. Moscow, Peace Publ., 1988. 168 p.
2. Arhiv pogody v g. Cheljabinske [Weather data archive in Chelyabinsk]. Available at: <http://rp5.ru>.
3. Lukashin Ju.P. *Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovanija vremennyh rjadov* [Adaptive methods for short time series forecasting]. Moscow, Financial and statistics Publ., 2003. 416 p.
4. Astapenko P.D. *Voprosy o pogode* [Questions about the weather]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986. 392 p.

Received 16 December 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Февралев, А.А. Краткосрочное локальное прогнозирование погоды при решении задачи повышения эффективности системы отопления / А.А. Февралев, Ю.С. Приходько // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 48–51. DOI: 10.14529/build160208

FOR CITATION

Fevralev A.A., Prikhodko S.Yu. Short-Term Local Weather Forecast in Case of Solving a Problem of Increasing Efficiency of Heating System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2016, vol. 16, no. 2, pp. 48–51. (in Russ.). DOI: 10.14529/build160208