УДК 004.41

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ РАСЧЕТА ПСИХРОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И ФОРМИРОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

¹Медведев Д.А., ²Фунтикова Е.А., ¹Геращенко Л.А., ²Воронов В.К.¹Братский государственный университет, Братск, e-mail: Gerashenko@mail.ru;²Иркутский национальный исследовательский технический университет,

Иркутск, e-mail: voronov@istu.edu.ru

Проведено краткое обсуждение значимости психрометрических показателей – группы физических величин, описывающих состояние атмосферы при проведении различных видов наблюдений, в частности в процессе приземных метеорологических наблюдений в непосредственной близости от поверхности земли. Сделан вывод о необходимости расширения ассортимента существующих программных продуктов для ЭВМ с целью повышения качества метеорологических измерений. Разработан программный модуль расчета психрометрических показателей высокой точности для автоматизированной системы обработки и формирования метеорологической информации. Назначение указанного модуля – расчет психрометрических таблиц, являющихся основой метеорологических наблюдений. Отмечается, что особенностью психрометрических таблиц является их многовариантность, т.е. возможность вычислять любой психрометрический показатель влажности на основе температуры воздуха. Проведены сравнения с эталонными значениями результатов разработанного программного модуля и ранее используемой системы. Показано, что разработанный программный модуль обладает высокой точностью, а также быстротой и удобством проведения вычислений. При создании информационной системы использовались методы функционального проектирования, методы объектно-ориентированного программирования и математической аналитики. Разработанный программный модуль полностью обеспечивает корректную передачу и получение расчетных показателей с системой, а также обеспечивает общий процесс, ускоряя его. Имеет более удобный и эргономичный интерфейс в отличие от своего предшественника.

Ключевые слова: программный модуль, информационные системы, функциональное проектирование, метеорология

SOFTWARE CALCULATION MODULE DEVELOPMENT FOR PSYCHROMETRIC INDICATORS IN PROCESSING AUTOMATED SYSTEM AND FOR METEOROLOGICAL INFORMATION FORMING

¹Medvedev D.A., ²Funtikova E.A., ¹Gerashchenko L.A., ²Voronov V.K.¹Bratsk State University, Bratsk, e-mail: Gerashenko@mail.ru;²Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: voronov@istu.edu.ru

Held a brief discussion on the importance of psychrometric indicators—a group of physical quantities describing the State of the atmosphere for various kinds of observations, in particular, the surface meteorological observation close proximity to the Earth's surface. The conclusion about the need to expand the range of existing computer software products to improve the quality of meteorological measurements. Designed software module for the calculation of indicators of high precision psichrometricheskih for the automated system of processing and formation of meteorological information. Indicates that the feature is their multiplicity of tables psichrometricheskih, i.e. the possibility to calculate any psychrometer humidity indicator based on air temperature. Comparisons with reference values results developed software module and system used previously. It is shown that the developed program module has high accuracy, as well as speed and convenience. When you create an information system used methods of functional design, object-oriented programming methods and mathematical analysis. Designed software module provides the correct transmission and receipt of payment indicators with the system, and also provides general process of accelerating it. Is more convenient and ergonomic interface unlike its predecessor.

Keywords: software module, information systems, functional design, meteorology

Психрометрия является прикладной научной дисциплиной, которая изучает способы измерения степени холода и влажности. Её основу составляют различные психрометрические показатели, а также способы их измерения. Особое значение данная наука получила в сфере метеорологических наблюдений. Психрометрические показатели – это группа физических величин, описывающих состояние атмос-

феры, а именно температуру и влажность, при проведении различных видов наблюдений, например при приземных метеорологических наблюдениях (наблюдения, проводимые в непосредственной близости от поверхности земли). В настоящее время приземные метеорологические наблюдения производятся в автоматическом, ручном и гибридном режимах, в зависимости от типа метеорологической станции. На-

равне с другими видами метеорологических наблюдений, такими как аэрологические, гидрологические, ионосферные, гелиофизические и другие, приземные метеорологические наблюдения играют важную роль в формировании важнейшей метеорологической информации, которая служит основой в синоптическом прогнозировании, т.е. составлении краткосрочных прогнозов погоды.

Нами уже была разработана система обработки и формирования метеорологической информации для автоматизации наблюдений без привлечения автоматизированных метеорологических комплексов, что позволило отойти от использования больших, печатных психрометрических таблиц [1]. Однако в данной системе расчет психрометрических показателей происходил в стороннем программном приложении свободного распространения, а именно «Психрометрические таблицы», разработанном ФГУП «КОМЕТ» в 2006 г. [2]. В данный момент на рынке информационных ресурсов нет большого выбора приложений по данной предметной области, так как чаще всего решения для расчета различных метеорологических показателей поставляются в интегрированных программно-аппаратных комплексах, а не в виде отдельных программных продуктов. Поэтому нет возможности объективно сравнить это приложение с другими, так как аналоги отсутствуют. Результаты этих расчетов превышали погрешность, установленную ГОСТ 8.524-85 «Таблицы психрометрические. Построение, содержание и расчетные соотношения» [3]. Вследствие этого, проблема проектирования и разработки программного приложения для расчета психрометрических показателей остается актуальной.

Цель исследования: основное предназначение психрометрических таблиц заключается в определении характеристик влажности воздуха по измеренным значениям температуры воздуха сухого термометра (t) и температуры смоченного термометра (t'), которые выражены в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$). Вышеуказанные показатели позволяют определить:

– парциальное давление водяного пара (e) в гектопаскалях;

– относительную влажность воздуха (f) в процентах;

– точку росы (t_d) в градусах Цельсия;

– дефицит насыщения водяного пара в гектопаскалях.

Особенностью психрометрических таблиц является их многовариантность, т.е. можно найти абсолютно любой психрометрический показатель влажности зная только температуру воздуха и один из вышеперечисленных показателей.

При расчете психрометрических таблиц за основу берутся расчетные соотношения зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры. Эти зависимости в соответствии с «Техническим регламентом» Всемирной метеорологической организации [4] имеют вид:

– для давления насыщенного водяного пара над поверхностью воды

$$\lg E_w = 10,79574 \left(1 - \frac{T_1}{T} \right) - 5,02800 \lg \frac{T}{T_1} + 1,50475 * 10^{-4} \left[1 - 10^{-8,2969 \left(\frac{T}{T_1} - 1 \right)} \right] + 0,42873 * 10^{-3} \left[10^{-4,76955 \left(1 - \frac{T_1}{T} \right)} - 1 \right] + 0,78614; \quad (1)$$

– для давления насыщенного водяного пара над льдом

$$\lg E_i = -9,09685 \left(\frac{T_1}{T} - 1 \right) - 3,56654 \lg \frac{T_1}{T} + 0,87682 \left(1 - \frac{T}{T_1} \right) + 0,78614. \quad (2)$$

Здесь $T_1 = 237,16 \text{ K}$ ($t_1 = 0,01^{\circ}\text{C}$) – температура равновесия между водой, льдом и водяным паром (тройная точка воды); T – температура по абсолютной шкале, связанная с температурой t по шкале Цельсия соотношением $T = 273,15 + t$.

На основе вышеуказанных формул базируются формулы основных психрометрических показателей.

Значения корректирующих функций

χ \ t	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40
Вода	1,0048	1,0044	1,0041	1,004	1,004	1,0041	1,0043	1,0046	1,0049
Лед	–	–	–	–	1,004	1,0041	1,0043	1,0046	1,005

Формулы (1) и (2) справедливы для однокомпонентной системы, т.е. в предположении чистого водяного пара вне смеси его с другими парами и газами. Для смеси водяного пара с воздухом при давлении p и температуре t полученные по формулам (1) и (2) значения насыщенного давления следует увеличить на значение корректирующей функции для воды $\chi_{в,в'}(p, t)$ и для льда $\chi_{л,л'}(p, t)$ [5], значения которых приведены в таблице.

Использование указанных значений корректирующих функций позволяет снизить относительную погрешность в среднем на 0,5%. Помимо этого, проведение расчетов по стандартизированным формулам позволит увеличить процент снижения погрешности, что является основной целью нашего исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из первостепенных по важности процессов разработки информационной системы является процесс проектирования. Он выделяет и устанавливает области решения, представленные в виде набора различных проблем управленческого, концептуального и, наконец, реализационного характера. В рамках процесса определяются и исследуются одна или несколько стратегий реализации системы со степенью детализации, соответствующей техническим и коммерческим требованиям и рискам [6]. Оптимальным вариантом выбора типа проектируемой системы является модульный тип. Проектируется единое ядро, включающее в себя набор основных функций системы, и полный спектр модулей, выполняющих определенный набор регламентированных операций по расчету метеорологических показателей, их кодировке и передаче. Взаимодействие ядра системы и модулей должно осуществляться посредством специального интерфейса. Проектирование выделяет и устанавливает области решения, представленные в виде набора различных проблем управленческого, концептуального и, наконец, реализационного характера. В рамках процесса определяются и исследуются одна или несколько стратегий реализации системы со степенью детализации, соответствующей техническим и коммерческим требованиям и рискам.

Этому процессу предшествует этап формирования требований. Поскольку разработанное нами приложение является программным модулем для автоматизированной системы обработки и формирования метеорологической информации, то оно принимает на себя некоторые функции основной системы, что отражается на требованиях к модулю.

Программный модуль должен:

- обеспечивать прием необходимой для расчетов информации из основной системы и передачу ей же уже рассчитанных показателей;
 - обеспечивать высокое быстродействие, тем самым не задерживая основной процесс контролирующей системы;
 - обеспечивать высокую точность проводимых расчетов и минимизировать погрешность от эталонных значений;
 - быть простым и понятным в использовании, иметь эргономичный интерфейс.
- Цель проектирования – выявление ясной и относительно простой внутренней структуры, называемой архитектурой системы [7]. Так как архитектура системы полностью зависит от выполняемых ею функций, то требуется определить логику системы. Для этого нами были рассмотрены основные процессы, которые должен выполнять проектируемый модуль:
- обмен данными с контролирующей системой;
 - проверка входных данных (проверка на целостность и логическая проверка);
 - расчет показателей исходя из результатов логической проверки данных.

Основным фактором, обеспечивающим разработку качественного программного продукта, является понимание логики процессов обработки и выдачи информации. Для отражения логики процессов строятся объектные модели, что помогает придерживаться выбранного функционала будущей системы на этапе программирования и изменять его при необходимости. Особую роль в разработанном нами модуле расчета психрометрических показателей играет условие определения путей расчета на основе набора первичных данных. Изначально модуль запрашивает у контролирующей системы показания температуры сухого и смоченного термометра, а также значение влажности воздуха (если эти значения уже имеются в системе). Далее определяется вариант наступления события исходя из условия: если температура сухого термометра меньше $-9,9$ градусов Цельсия, то значение влажности определяется инструментально, с помощью гигрометра, а следом уже рассчитываются все остальные показатели. Если же температура сухого термометра больше указанного значения, то расчет влажности производится с помощью показаний смоченного термометра.

Это обусловлено тем, что смачивание термометра нецелесообразно при температуре воздуха меньше $-9,9$ градусов Цельсия, так как жидкость со смачиваемой поверхности термометра не будет испаряться, а будет стремительно замерзать, что не позволит верно определить влажность воздуха.

Схема взаимодействия модуля и целевой системы

После определения архитектуры и логики приложения процесс разработки переходит на этап программирования. В качестве языка программирования был выбран C#, так как на нем написана контролирующая система, что облегчит передачу данных между ней и модулем. Более подробное обоснование выбора языка программирования было изложено в статье «Выбор технологии и платформы программирования для автоматизации метеорологических процессов».

На этапе программирования системы за основу были взяты условные алгоритмы, они позволяют оптимально реализовать достаточно сложную схему кодирования обработанной метеорологической информации. В качестве конечной платформы функционирования системы была выбрана операционная система семейства Windows версий 7 и выше. Разработка производилась в среде Microsoft Visual Studio 2015, на языке программирования C#. Данный язык был выбран нами для разработки, поскольку поддерживает как статическую, так и динамическую типизацию, позволяет организовывать локальные переменные и перегрузки функций; также он имеет стандартизацию ISO ECMA [8, 9].

Для обеспечения передачи информации между системой и модулем используется система общей памяти. Контролирующая система при появлении в ней необходимых

значений от пользователя передает их в отдельный поток, где так называемый «писатель» записывает указанные значения в отдельный файл, а «читатель» модуля считывает их и обрабатывает. Схема обратной передачи данных выглядит аналогично. Таким образом, система из файлов для хранения информации и скриптов считывания/записи формирует общую память, позволяя быстро обмениваться информацией между модулем и системой. Также выделение информации в отдельный поток позволит не задерживать основной расчет данных в системе, что позволяет увеличить быстродействие системы. На рисунке представлена схема взаимодействия модуля с целевой системой.

Так как основной целью разработки данного программного модуля является минимизация погрешности при расчете психрометрических показателей, то необходимо провести его функциональное тестирование с различными наборами входных данных. Для этого нами были сформированы входные значения показателей, которые характерны для различных погодных условий, что позволит избавиться от однотипности выбранных значений и добавит вариативность результатов. По сформированной выборке входных значений были произведены расчеты результирующих показателей в сравниваемых системах, а также сравне-

ние результатов с эталонными значениями из психрометрических таблиц. Показатели, рассчитанные при помощи разработанного нами модуля, либо абсолютно совпадают с эталонными, либо имеют минимальное отклонение в 0,1 %, так как значения, рассчитанные ранее используемой системы, имеют среднее отклонение от эталона в 2,5–3 %, что является довольно большим значением и доказывает целесообразность проводимого исследования.

Заключение

Разработанный программный модуль полностью обеспечивает корректную передачу и получение расчетных показателей с системой, а также обеспечивает общий процесс, ускоряя его. Имеет более удобный и эргономичный интерфейс в отличие от своего предшественника. Так как основной целью разработки программного модуля являлась минимизация погрешности расчета психрометрических показателей, то для более детального анализа было проведено функциональное тестирование системы, в ходе которого сравнивались результаты работы разработанного программного модуля и ранее используемого приложения с психрометрическими таблицами, выступающее в качестве эталонного значения. Из полученных данных следует, что абсолютное отклонение расчетных показателей значительно меньше, чем в используемой ранее программе. Если также принять во внимание тот факт, что в разработанном нами программном модуле исходные дан-

ные передаются в автоматическом режиме и не требуют ручного ввода, то можно смело заявить, что его использование вместе с автоматизированной системой обработки и формирования метеорологической информации значительно повышает точность расчетов и скорость обработки информации.

Список литературы

1. Медведев Д.А., Геращенко Л.А. Разработка автоматизированной системы обработки и формирования метеорологической информации // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 8. – С. 58–64.
2. Уголок разработчика APM Аэролога: URL: <http://komet.webzone.ru/kats/armcorner.htm> (дата обращения: 16.06.2018).
3. ГОСТ 8.524-85. Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения. – М., 1985. – 34 с.
4. Технический регламент. Сборник основных документов № 2. Том 1 – Общие метеорологические стандарты и рекомендуемая практика. Всемирная метеорологическая организация. – 2012.
5. Психрометрические таблицы – Л.: Гидрометиздат, 1972. – 236 с.
6. Гамма Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Д. Влиссидес. – СПб.: Питер, 2009. – 366 с.
7. Уильямс Э. Параллельное программирование на C++ в действии. Практика разработки многопоточных программ. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 672 с.
8. Медведев Д.А. Выбор технологии и платформы программирования для автоматизации метеорологических процессов // Экономика. Финансы. Менеджмент: тезисы докладов VIII (XIV) межрегион. научн.-практ. конф. – Братск: Изд-во БрГУ, 2017. – С. 202.
9. Хейлсберг А. Язык программирования C#. Классика Computers Science. 4-е изд. / А. Хейлсберг, М. Торгерсен, С. Вилтамут, П. Голд. – СПб.: Питер, 2012. – 784 с.