

Ю.Н. Солопчук

Информационная технология для прогноза охлаждения человека в воде

Создана информационная технология для оценки охлаждения человека в воде на базе комплекса математических моделей терморегуляции человека. Удобный и интуитивно понятный графический интерфейс позволяет использовать технологию для оценки времени безопасного пребывания человека в воде и его физиологического состояния при проведении поисково-спасательных работ и оказании неотложной медицинской помощи.

An information technology based on the complex of the mathematical models of a human thermoregulation was developed to assess man cooling in the water. User-friendly graphic user interface allows while conducting the rescue and emergency medical services to estimate the safe stay time of man in the water and physiological state of the human body.

Створено інформаційну технологію для оцінки охолодження людини у воді на базі комплексу математичних моделей терморегуляції людини. Зручний і інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс дозволяє використовувати технологію для оцінки часу безпечного перебування людини у воді і фізіологічного стану при проведенні пошуково-рятувальних робіт і наданні невідкладної медичної допомоги.

Введение. При организации и проведении поисково-спасательных работ необходима информация о времени безопасного пребывания человека в воде и его теплофизиологическом состоянии, что позволит оптимизировать работу спасательных служб, улучшить качество проводимых мероприятий и минимизировать угрозы здоровью и жизни человека. Широко используемым средством для оценки этих данных служит кривая Молнара, основанная на статистических данных о времени выживания в зависимости от температуры воды [1]. Существуют также таблицы статистических данных [2]. Но эта информация слишком упрощена, не учитывает факторов, влияющих на время безопасного пребывания (антропометрические параметры человека, уровень погружения, наличие защитных средств и др.), и не дает информации о теплофизиологическом состоянии человека.

Существуют реализованные в виде компьютерных программ математические модели терморегуляции, прогнозирующие состояние человека во время пребывания в воде, но они относительно сложны, требуют определенных навыков в работе и часто не имеют графического интерфейса [3–5]. Количество математических моделей, реализованных в виде программного обеспечения с удобным и простым интерфейсом мало, а возможности ограничены. Так, информационная техно-

логия *The Cold Exposure Survival Model (CESM)* была разработана только для оценки времени выживания только в холодной среде [6]. Приложение *The Probability of Survival Decision Aid (PSDA)* в отличие от *CESM* позволяет оценить время выживания не только при гипотермии, но и при гипертермии, но не предоставляет информации о теплофизиологическом состоянии человека [7].

Цель данной статьи – разработка информационной технологии (ИТ) на базе комплекса математических моделей для оценки охлаждения человека в воде с понятным и удобным интерфейсом пользователя.

Информационная технология

ИТ для прогноза охлаждения человека в воде построена на базе комплекса математических мультикомпаратментальных моделей терморегуляции и теплообмена человека, включенных в информационную платформу [8, 9].

Графический интерфейс пользователя (ГИП) – это ключевой момент в ИТ, так как позволяет легко работать с комплексом математических моделей и задавать входные условия моделируемой ситуации (рис. 1).

ИТ реализована на языке программирования *MatLab* в среде *MatLab R2013b*. Язык *MatLab* – высокоуровневый интерпретируемый язык программирования, содержащий основанные на матрицах структуры данных, широкий спектр

Ключевые слова: информационная технология, терморегуляция, моделирование, пребывание в воде.

функций, интегрированную среду разработки, объектно-ориентированные возможности и интерфейсы к программам, написанным на других языках. Его главное преимущество – широкие возможности работы с матрицами, позволяющими легко работать с большими объемами данных, характеризующими человека. Реализация отдельных моделей в виде функций и скриптов обеспечивает их многократное использование для решения близких задач.

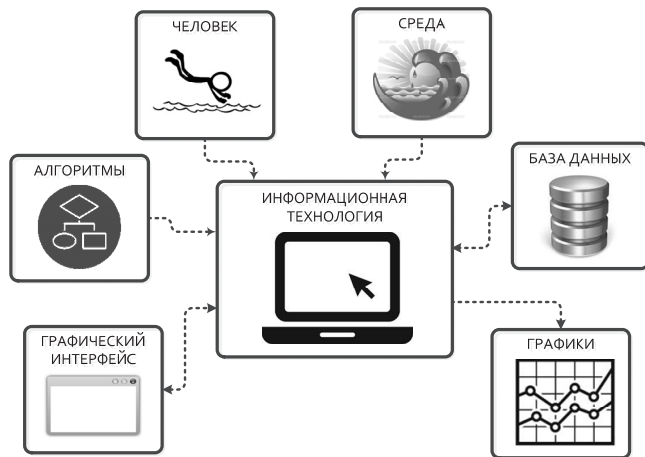


Рис. 1

Среда *MatLab R2013b* располагает большим набором средств для быстрого и качественного решения задач, связанных с моделированием сложных систем, таких как человек. К ним относятся пакеты для создания графических интерфейсов, численных решений дифференциальных уравнений. *MatLab* имеет в своем пакете прикладных программ несколько реализаций решения дифференциальных уравнений. Выбор численного метода решения системы уравнений зависит от научной задачи. Комплекс математических моделей для прогнозирования охлаждения человека в воде представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), описывающих процессы терморегуляции человека [10, 11]. Для решения системы уравнений модели была модифицирована функция решения ОДУ многошаговым методом Адамса–Башворта–Мултона переменного порядка *ode113*. Это адаптивный метод, обеспечивающий высокую точность и скорость решения.

Разработанный графический интерфейс пользователя доступен широкому кругу пользователей. Алгоритм работы с информационной технологией представлен на рис. 2. При запуске программы появляется окно приветствия и начала работы. После нажатия кнопки *Start experiments* появляется окно ввода количества последовательных экспериментов в серии, что позволяет моделировать последовательные изменения состояний человека во времени (изменения сред воздух, вода, уровней погружения, физической активности). Данные о теплофизиологическом состоянии человека в текущем эксперименте являются исходными данными для последующего эксперимента в серии. Исходным состоянием в серии экспериментов есть человек в состоянии покоя в термонейтральных условиях.



Рис. 2

Входные параметры. Данные задаются в окне ввода параметров эксперимента (рис. 3):

- уровень погружения: по умолчанию человек полностью находится в водной среде; в левой части окна ввода входных параметров (см. рис. 3) отмечаются части тела, находящиеся на воздухе;

модель позволяет моделировать широкий спектр уровней пребывания в воде.

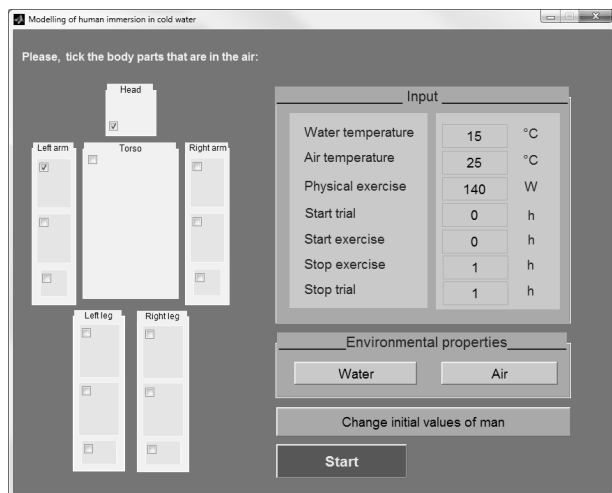


Рис. 3

- Параметры окружающей среды: температуры воды и воздуха. Значения скорости воды и воздуха, влажности воздуха и солёности воды предустановлены, их можно изменить в соответствующих вкладках *Water*, *Air* (см. рис. 3).

- Параметры человека включают в себя физические и антропометрические характеристики (вес, процентное содержание жира, площадь поверхности кожи, уровень базового обмена веществ, теплопроводность и теплоемкость тканей и пр.) и пороговые значения системы терморегуляции (температуры начала терморегуляционных реакций). По умолчанию эксперимент проводится для стандартного человека: вес – 70 кг, рост – 170 см. При нажатии кнопки *Change initial values* (см. рис. 3) появляется меню для ввода антропологических данных человека, распределенных по компартаментам.

- Выполняемая физическая нагрузка. Например, пребывание в положении стоя соответствует 137 Вт; плавание вольным стилем – 500 Вт.

- Длительность эксперимента и выполнения физической нагрузки. Начало и конец физической нагрузки может не совпадать с началом и окончанием эксперимента.

При нажатии кнопки *START* (см. рис. 3) ГИП запускает комплекс математических мо-

делей для расчета теплового состояния человека. На каждом временном шаге рассчитываются пассивная и активная части системы терморегуляции (см. рис. 2).

Модели комплекса в ИТ реализованы в виде функций и скриптов. Расчет пассивной части системы терморегуляции состоит из трех функций: расчет коэффициента конвективного теплообмена в воде, расчет теплопереноса и теплообмена внутри организма, расчет теплообмена со средой. Расчет активной части представляет собой набор функций, рассчитывающих эфферентные сигналы: изменения кожного кровотока; теплопродукция – в результате физической нагрузки и холодового термогенеза; потоотделение с частей тела, находящихся на воздухе. Включение\выключение терморегуляционных реакций происходит по порогу, их значения могут изменяться в меню *Change initial values* (см. рис. 3).

По окончании всех экспериментов в серии, рассчитанные данные сохраняются в базе данных и выводятся в виде графиков (см. рис. 1).

Выходные параметры. Математическая модель рассчитывает характеристики теплофизиологического состояния человека. Наиболее существенные динамические характеристики изображаются в виде графиков: локальные температуры тела, локальные кровотоки и теплопродукция (рис. 4), температура ядра и сред-

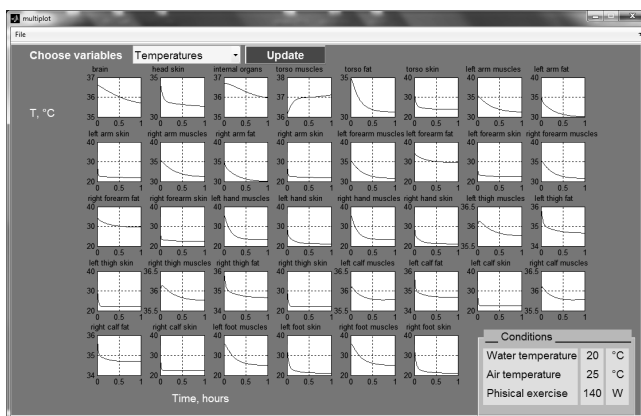


Рис. 4

няя температура кожи, состояние сердечно-сосудистой системы, тепловой баланс, тепловые потери (рис. 5). Выбор отображаемой характеристики реализован в виде выпадающего меню.

(рис. 6, 7). Информационная технология выдает также предупреждение о времени наступления гипотермии (температура ядра ниже 35°C) (рис. 8).

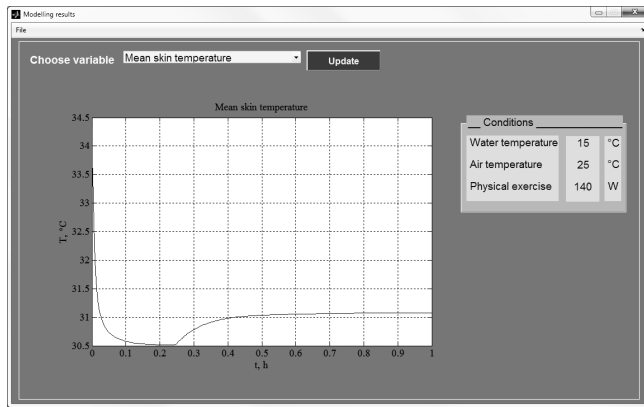


Рис. 5

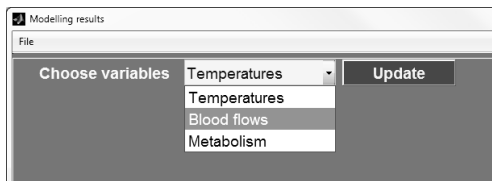


Рис. 6

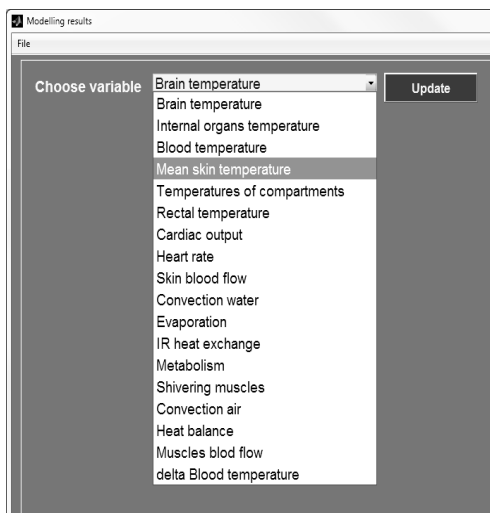


Рис. 7

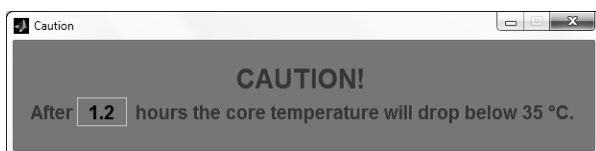


Рис. 8

Работа с информационной технологией аналогична реальному мониторингу физиологического состояния человека при взаимодей-

ствии со средой. ИТ позволяет прогнозировать динамику физиологических характеристик человека: локальных температур тела, тепловых потоков, кровотоков, потоотделения, метаболических процессов, сердечного выброса, частоты сердечных сокращений и др. По окончании вычислительного эксперимента модель делает заключение о резервных возможностях организма и предупреждает об их исчерпании. Рассчитанные характеристики могут быть изображены в виде графиков и таблиц.

Заключение. Разработанная информационная технология на базе комплекса математических динамических моделей для прогноза теплофизического состояния человека в воде с целью оценки степени охлаждения в зависимости от температуры воды и уровня погружения предоставляет удобные средства для анализа динамики процессов и отображения широкого спектра показателей состояния человека как общих, так и локальных: теплопродукции, температуры, кровотоков, сердечного выброса, частоты сердечных сокращений (ЧСС), теплопотерь и др.

1. *Molnar G.W.* Survival of hypothermia by men immersed in the ocean. // *J. Am. Med. Assoc.* – 1946. – **131**. – С. 1046–1050.
2. *Golden F., Tipton M.* Essentials of Sea Survival Human Kinetics, 2002. – 320 p.
3. *van Dorn W.G.* Thermodynamic model for cold water survival // *J. Biomed. Eng.* – 2000. – **122**. – P. 541–544.
4. *Montgomery L.D.* A model of heat transfer in immersed man // *Annals of Biomedical Engin.* – 1974. – **2**. – P. 19–46.
5. *Wissler E.H.* Mathematical simulation of human thermal behavior using whole body models / Eds. by A. Shitzer, R. Eberhart // *Heat Transfer in Medicine and Biology.* – New York: Plenum Press, 1985. – P. 325–373.
6. *Tikusis P., Keefe A.A.* Prediction of sea survival time // *Defence and Civil Institute of Environmental Medicine DCIEM.* – 1996. – **96**, № 12. – С. 12–32.
7. *Xu X., Turner C.A., Santee W.R.* Survival Time Prediction in Marine Environments // *J. of Thermal Biology.* – 2011. – **36**, № 6. – С. 340–345.
8. *Yermakova I.* Mathematical modeling of thermal processes in man for development of protective clothing // *J. of the Korean society of living environmental system.* – Sept. 2001. – **8**, N 2. – P. 127–133.

9. *Ермакова И.И.* Информационная платформа мультикомпарментальных моделей терморегуляции человека // Кибернетика и выч. техн. – 2013. – **174**, № 81 – С. 81–91.
10. *Yermakova I., Solopchuk Y., Khudyakova L.* Heat production, heat transfer and heat exchange in man during water immersion: mathematical modeling // IEEE XXXIII Int. Sci. Conf., April 2013. – P. 290–292.
11. *Ермакова И.И., Николаенко А.Ю., Солопчук Ю.Н.* Модель терморегуляции человека для оценки холодового стресса на воздухе и в воде // УСиМ. – 2014. – № 5. – С. 6–12.

Поступила 26.01.2015
E-mail: julia.solopchuk@gmail.com
© Ю.Н. Солопчук, 2015

Обращаем внимание наших читателей!

В ближайшее время будет доступен сайт журнала: usim.irtc.org.ua, на котором будет размещен архив журнала с 2009 года.

На сайте библиотеки Вернадского в рубрике «Наукова періодика України» также будет доступен архив журнала с 2009 года. Все научные издания, представленные на этом ресурсе на новой платформе, будут корректно индексироваться поисковой системой *Google Scholar*.

С 2013 года наш журнал представлен в научной электронной библиотеке, которая содержит Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), электронные научные публикации, информационные базы данных научных изданий, а также сервис индивидуальной подписки на электронные версии научных изданий и представляет собой научно-метрическую базу: <http://www.elibrary.ru>.