

УДК 004.4:621.3

МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ПОМЕЩЕНИИ**¹Карпенко А.В., ²Петрова И.Ю.**¹ФГБОУ «Астраханский государственный университет»,
Астрахань, e-mail: andreykotor@gmail.com;²ФГБОУ «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет»,
Астрахань, e-mail: irapet1949@gmail.com

В статье рассматриваются различные модели обеспечения комфортных условий микроклимата в помещении. Модели управления микроклиматом должны учитывать изменение множества внешних факторов для создания санитарно-эпидемиологических условий, обеспечивающих безопасность здоровья человека и полноценное использование помещения при минимизации затрат энергии. В настоящее время в отечественной литературе существует большое количество статей по отдельным моделям и методам, но до сих пор отсутствуют обзорные статьи, которые позволили бы сравнить различные подходы между собой, выявить достоинства и недостатки каждого метода и возможности комбинированного использования разных подходов. В то же время подробные обзорные статьи за рубежом появляются достаточно часто, что связано с быстрым развитием различных методов интеллектуальных вычислений применительно к управлению зданиями. В рамках данной статьи проведён анализ различных моделей систем управления микроклиматом, показано, что в настоящее время наиболее распространены модели на основе интеллектуальных вычислений, показаны достоинства и недостатки моделей разных видов.

Ключевые слова: микроклимат, санитарные условия, интеллектуальные вычисления, модели управления**MODEL OF CONTROL INDOOR CLIMATE****¹Karpenko A.V., ²Petrova I.Yu.**¹Astrakhan State University, Astrakhan, e-mail: andreykotor@gmail.com;²Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering,
Astrakhan, e-mail: irapet1949@gmail.com

The article discusses the various models ensure a comfortable microclimate conditions in the room. Climate control models must take into account the change in many external factors to create a sanitary and epidemiological conditions to ensure human health and safety, and full use of the facilities while minimizing energy costs. Currently, the domestic literature there are a large number of articles on specific models and methods, but there is still no review articles, which would allow to compare different approaches between them, to identify the strengths and weaknesses of each method and the possibility of combined use of different approaches. At the same time detailed review articles abroad appear quite often, due to the rapid development of a variety of intelligent computing techniques for building management. In this article conducted an analysis of various models of the climate control system, it is shown that at present the most common model based on intelligent computing, shows the advantages and disadvantages of different types of models.

Keywords: microclimate, sanitary conditions, intelligent computing, management model

Сегодня 40% мирового потребления энергии и около 30% выбросов углекислого газа приходится на здания и сооружения. В современных зданиях обеспечение внутренних комфортных условий – сложная техническая задача, требующая обеспечения оптимальных значений всех факторов, влияющих на микроклимат, при ограничении потребления энергии. Оптимальными условиями являются такие, при которых обеспечена высокая работоспособность и безопасность здоровья человека. Поэтому снижение потребления энергии и сопутствующих выбросов парниковых газов в зданиях является актуальной задачей, которая обуславливает активную разработку новых вычислительных методов для энергоэффективных систем управления микроклиматом.

Решение этой задачи представляет собой один из важных компонентов проектирования системы управления интеллектуальным зданием (управление системами отопления вентиляции и кондиционирования воздуха – ОВК) [9]. В мире накоплен значительный опыт проектирования систем управления ОВК, что приводит к экономии энергоресурсов в среднем на 8–12% при обеспечении оптимальной комфортности для жителей в интеллектуальных зданиях [7] и снижении сопутствующих выбросов парниковых газов.

Важным условием уменьшения трудоемкости проектирования таких систем является применение компьютерного моделирования, точность и адекватность используемых моделей микроклимата в помещении. Следует отметить особенность

моделирования для систем управления микроклиматом по сравнению с моделями, используемыми при проектировании здания [10]: необходимы математические модели, не требующие больших затрат времени на вычисления при высокой точности результатов. Учитывая неизбежное запаздывание регулирования по отношению к изменению параметров микроклимата, модель должна обеспечивать точный прогноз развития процесса.

В настоящее время в отечественной литературе существует большое количество статей по отдельным моделям и методам управления микроклиматом в зданиях, но до сих пор отсутствуют обзорные статьи, которые позволили бы сравнить различные подходы между собой, выявить достоинства и недостатки каждого метода и возможности комбинированного использования разных подходов. В то же время подробные обзорные статьи за рубежом появляются достаточно часто, что связано с быстрым развитием различных методов интеллектуальных вычислений применительно к управлению зданиями [14, 17, 23, 26]. В данной работе проведен анализ основных современных подходов к моделированию процессов формирования микроклимата в помещении с целью определения наиболее эффективных моделей и набора контролируемых параметров.

Классификация моделей управления микроклиматом в здании

Все модели управления микроклиматом в помещении можно разделить на три класса (рис. 1).

Модели белого ящика – построены на физических принципах термо-, гидро- и га-

зодинамики. Эти модели состоят из нескольких сложных дифференциальных уравнений, в которых использованы многочисленные коэффициенты, учитывающие геометрию здания, тепловые свойства ограждающих конструкций, инсоляцию и т.д. Все параметры и коэффициенты моделей известны, они либо вычисляются, либо измеряются. Такие модели громоздки, требуют больших вычислительных ресурсов и временных затрат. Другой вид моделей – учитывает чувствительность человека к тепловым и влажностным условиям на основе показателя комфортности (показатели PMV/PDD). Наконец, третий вид моделей основан на электротепловой аналогии, которая обусловлена тождественностью уравнения электропроводности и уравнения теплопроводности [6, 28]. В работах [8, 24, 29] показана аналогия с описанием явлений влагопереноса, что позволяет учесть состояние влажности в помещении.

Модели черного ящика – не используют в явном виде физические принципы при построении модели. Известны только входные и выходные параметры модели. Такая модель является некоторой аппроксимацией наблюдаемых процессов. К таким моделям можно отнести всевозможные модели на основе нейронных сетей, модели на основе нечеткой логики и нейро-нечеткое моделирование [23, 26].

Модели серого ящика – построены частично на физических принципах. Не все параметры такой модели известны, они не могут быть вычислены или измерены. По сути – это гибридные модели, сочетающие особенности моделей первого и второго типа.

В статье рассмотрены различные виды моделей и проведено их сравнение.

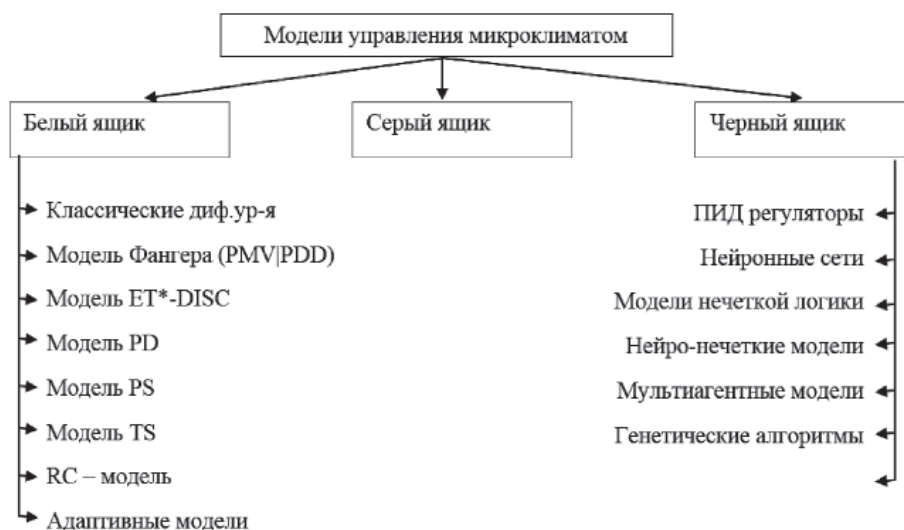


Рис. 1. Классификация моделей управления микроклиматом в здании

Сравнение и анализ моделей

В данном исследовании рассмотрены разнообразные методы контроля и управления в системах ОВК, проанализировано большое количество зарубежных обзоров по различным видам моделей микроклимата в помещении: в [14] – 190 источников, в [17] – 127 источников, в [23] – 50 источников, в [26] – 78 источников, а также отдельных статей. В процессе анализа этой научно-технической документации авторами установлено, что наиболее распространенными моделями являются модели на основе показателя комфортности (PMV/PDD) и модели на основе нечеткой логики (рис. 2). В то же время существует тенденция все более широкого использования нейронных сетей, генетических алгоритмов и мульт

тиагентных систем. Поэтому дальнейшие исследования надо направить на изучение этих моделей и гибридных систем, сочетающих модели искусственного интеллекта с теоретическими.

Для выявления комфортных условий модели используют разные наборы данных. Выбор модели расчёта и набора данных может зависеть от конкретных задач и условий применения. Управление в системах ОВК в основном осуществляется по параметрам, показанным на рис. 3. Анализ показал, что моделирование влияния освещенности и загрязненности воздуха (CO_2) учитывается в моделях реже, чем такие факторы, как температура, влажность, энергопотребление.

В таблице приведен краткий анализ достоинств и недостатков рассмотренных моделей.



Рис. 2. Сравнение распространенности методов управления ОВК



Рис. 3. Параметры управления в системах ОВК

Достоинства и недостатки моделей управления микроклиматом

Название модели	Преимущества	Недостатки
1	2	3
Классические дифференциальные уравнения теплового баланса здания [6, 8, 10, 24]	Наглядная расчетная схема, надежность и точность результатов, возможность корректировки расчетных формул и учета дополнительных факторов (влажность и др.)	Сложность и громоздкость вычислений, необходимость идентификации большого числа параметров
PMV модель [3, 6, 10, 11, 18, 27]	Использует большое количество параметров. Учитывает метаболический фактор, условие наличия одежды	Не может быть применена при колебаниях нескольких переменных. Основные параметры должны находиться в заданных интервалах
ET*-DISC и SET модели [4, 12, 27]	Модели имитируют систему терморегуляции человеческого организма	Не учитывают адаптацию организма, используют фиксированные факторы
TS, PD, PS модели [12, 20, 27, 28]	Позволяют определить комфортные условия для факторов, влияющих на качество жизни в помещении	Модели локального комфорта, невысокая точность, сложность интерпретации результатов
Адаптивная модель [20, 26]	Учитывает изменения наружного климата, хорошая устойчивость	Сложность и трудоемкость при реализации
RC-модель [2, 6, 19, 23, 28, 29]	Простота модели, система линейных дифференциальных уравнений позволяет учитывать взаимосвязь процессов теплопередачи и влажности	Невысокая точность вычислений. Трудность учета параметров внешней среды (солнечное излучение, ветер и т.д.)

Окончание таблицы

1	2	3
PID управление [5, 16, 22, 26]	Быстродействие, точное удержание заданной температуры	Проблема подбора коэффициентов модели, малая точность, трудоемкость настройки, ошибки при больших отклонениях от номинальных значений параметров
Управление на основе нечеткой логики [13, 21, 26]	Высокая точность, устойчивость, быстродействие, позволяет управлять нелинейными системами с динамически изменяющимися параметрами	Сложность настройки и составления базы нечетких правил. Экспоненциальный рост сложности вычислений при увеличении количества входных переменных
Управление на основе искусственных нейронных сетей [14, 17, 23, 26]	Обработка большого количества входных данных, надежное прогнозирование, не требуется предварительная информация о здании или климатической подсистеме	Требуется большое количество экспериментальных данных для высококачественного прогноза, длительность процесса обучения
Нейро-нечеткие системы управления [1, 15, 26]	управление сложными нелинейными динамическими объектами и синтез для них нелинейных законов управления	Можно использовать только ограниченное число входных переменных, длительный процесс обучения
Мультиагентные системы управления [17]	Гибкость – агенты могут быть дополнены и модифицированы. Способность к самовосстановлению и устойчивость к сбоям	Большое количество разрозненных агентов делает систему трудно управляемой
Генетические алгоритмы [14, 23, 25]	Решение задач оптимизации очень большой размерности при отсутствии упорядоченности исходных данных	Трудность в нахождении точного глобального оптимума, длительное время работы алгоритма, сложность программного кода

Заключение

В течение нескольких десятилетий было разработано множество способов и методов управления микроклиматом в помещении. Это сложная задача с высокой степенью неопределенности и динамическим изменением внутренних и внешних условий. Поэтому для эффективной работы системы управления микроклиматом необходима постоянная адаптация к меняющимся условиям внутреннего состояния и внешней среды с возможностью краткосрочного и среднесрочного прогнозирования термодинамического состояния объекта управления под влиянием изменяющихся факторов внешней среды.

Прогнозировать состояние микроклимата система управления может с помощью различных моделей, обладающих способностью к распознаванию изменений параметров внешней и внутренней среды. Некоторые модели в силу своей специфики учитывают только малое количество параметров, влияющих на чувство комфорта, и их применение является узконаправленным. Наибольшее распространение из-за своей гибкости и комплексности, учитывающей множество параметров, получила модель PMV.

Традиционные методы управления (модели «белого ящика») сегодня исполь-

зуются наиболее часто, что связано с их относительной простотой реализации. Однако при использовании этих методов высока стоимость обслуживания потребления энергии. Поэтому в последнее время появляется все больше так называемых моделей «черного ящика», в основе которых лежат методы интеллектуальных вычислений (нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети и т.д.). Поддержание теплового комфорта в здании – сложная многопараметрическая задача с нечеткими переменными, поэтому контроллеры на основе методов интеллектуальных вычислений более гибки в управлении, надежны и обеспечивают снижение энергопотребления до 30 %.

Список литературы

1. Андриевская Н.В., Резников А.С., Черанев А.А. Особенности применения нейро-нечетких моделей для задач синтеза систем автоматического управления // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11–7. – С. 1445–1449.
2. Босворт Р.Ч.Л. Процессы теплового переноса. – М.: Гостехиздат, 1957. – С. 218–220.
3. ГОСТ Р ИСО 7730-2009 7790-2009, Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD.
4. Давыдова Ю.А., Черунова И.В., Сирота Е.Н., Савин В.С. Подходы в математическом моделировании системы теплообмена с участием человека // *Современные наукоемкие технологии*. – 2014. – № 5–2 – С. 22–24.

5. Зорин С.В. ПИД-закон регулирования. Методы нахождения ПИД коэффициентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.termodat.ru/pdf/pid.pdf> (дата обращения: 12.05.2016).
6. Кувшинов Ю.Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – С. 2–27.
7. Метаковский М. Экономическая эффективность эксплуатации «Интеллектуальных объектов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.bacnet.ru/knowledge-base/articles/index.php?ELEMENT_ID=769 (дата обращения 24.04.2016).
8. Низовцев М.И. Расчетно-экспериментальные исследования энергоэффективных элементов ограждающих конструкций и климатического оборудования зданий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2009. – 305 с.
9. Петрова И.Ю., Зарипова В.М., Лежнина Ю.А. Проектирование информационно-измерительных и управляющих систем для интеллектуальных зданий. Направления дальнейшего развития // Вестник МГСУ. – 2015. – № 12. – С. 147–160.
10. Табунщиков Ю.А., Бродяч М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВOK-ПРЕСС, 2002. – С. 174–175.
11. Устинов В. Микроклимат и качество воздуха в офисных зданиях. Сравнение норм России и ЕС // АВOK № 3 2015 [Электронный ресурс] – Режим доступа http://zvt.abok.ru/upload/pdf_articles/197.pdf (дата обращения 24.04.2016).
12. Andris Aluliciems and Steven V. Szokolay // Thermal Comfort, PLEA Notes – 1997. – P. 65.
13. Aparicio P., et al. Control of HVAC system comfort by sampling, Proceedings of International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (ICIEOM 2012). Portugal, Guimarães, July 9–11. – 2012. – P. 10.
14. Ahmad M.W., Mourshed M., Yuce B., Rezgui Y. Computational intelligence techniques for HVAC systems: A review, BUILD SIMUL (2016) 9: P. 359–398, DOI 10.1007/s12273-016-0285-4.
15. Collotta M., Messineo A., Nicolosi G. and Pau G. A Dynamic Fuzzy Controller to Meet Thermal Comfort by Using Neural Network Forecasted Parameters as the Input // Energies. – 2014. – № 7. – P. 4727–4756; doi:10.3390/en7084727.
16. Donaisky E., Oliveira G.H.C. and Mendes N., Real-time implementation of PID-based thermal comfort control algorithms, Proceedings of 19th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2007) November 5–9, 2007, Brasilia, DF, (<http://www.abcm.org.br/anais/cobem/2007/pdf/COBEM2007-2052.pdf>).
17. Dounis A.I., Caraiscos C. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment: // A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – № 13. – P. 1246–1261.
18. Fanger P.O., Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering // Danish Technical Press. – 1970. – P. 244.
19. Ferreira A.P., Mose D., Jae C. Oh Thermal Faults Modeling using a RC model with an Application to Web Farms // 19th EuroMicro Conference on Real-Time system (ECRTS'07). – 2007. – P. 113–124.
20. Fountain M., Huizenga C. A thermal sensation prediction software tool for use by the profession // ASHRAE Transactions. – 1997. – Vol. 103, Part 2. – P. 130–136.
21. Gassmann O., Meixner H. Sensors in Intelligent Buildings, Vol. 2 // Wiley-VCH Verlag GmbH, DOI: 10.1002/3527600302. – P. 106–125.
22. Kishore S. P. Yashwanth, V. Suresh Kumar Real time thermal comfort sensing using a computer aided module // IJARECE. – February 2016. – Vol. 5. issue 2. – P. 412–415.
23. Kramer R., J. van Schijndel, Schellen H. Simplified thermal and hygric building models: A literature review. Frontiers of Architectural Research. – 2012. – № 1(4). – P. 318–325.
24. Luikov A.V. Systems of differential equations of heat and mass transfer in capillary porous bodies // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1975. – №18. – P.1–14.
25. Nabil Nassif, Stanislaw Kaji, Robert Sabourin, Optimization of HVAC Control System Strategy Using Two-Objective Genetic Algorithm // International Journal of HVAC&R Research. – July 2005. – Vol. 11. – № 3. – P. 459–486.
26. Perera D.W.U., Pfeiffer C. F., Skeie N.-O. Control of temperature and energy consumption in buildings – A review // International journal of Energy and Environment. – 2014. – Vol. 5, Issue 4. – P. 471–484.
27. Rabadi N. J., Developing a Software to Predict Thermal Comfort of Humans at Work // Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. – 2011. – Vol. 5. – № 4. – P. 359–368.
28. Zariyova V., Petrova I. System of Conceptual Design Based on Energy-Informational Model // Progress in systems engineering, Proceedings of the the 23rd International Conference on Systems Engineering, August, 2014, Las Vegas, NV, Series: Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2015. – Vol. 1089. – P. 365–373.
29. Zariyov M., Petrova I., Zariyova V Project of creation of knowledge base on physical and technological effects // IM-EKO TC1 Symposium on Education in Measurement and Instrumentation 2002: Challenges of New Technologies Challenges of New Technologies. – 2002. – P. 6.

References

1. Andrievskaia N.V., Reznikov A.S., Cheranov A.A. *Osobennosti primeneniia neyro-nechetkikh modelei dlia zadach sinteza sistem avtomaticheskogo upravleniia*, Fundamentalnye issledovaniia no. 11–7, 2014, pp. 1445–1449.
2. Bosvort R.Ch.L. *Protsessy teplovogo perenosa* [tekst] M.: Gostekhzidat, 1957. pp. 218–220.
3. GOST R ISO 7730-2009 7790-2009, *Ergonomika termalnoy sredy. Analiticheskoe opredelenie i interpretatsiia komfortnosti teplovogo rezhima s ispolzovaniem rascheta pokazatelei PMV i PPD*.
4. Davydova Iu.A., Cherunova I.V., Sirota E.N., Savin V.S. *Podkhody v matematicheskoy modelirovaniu sistem teploobmena s uchastiem cheloveka, Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2014. no. 5–2, pp. 22–24.
5. Zorin S.V. PID-zakon regulirovaniia. Metody nakhozheniia PID koeffitcentov, Available at: <http://www.termodat.ru/pdf/pid.pdf> (accessed: 12 May 2016).
6. Kuvshinov Iu.Ia. *Teoreticheskie osnovy obespecheniia mikroklimata pomeshcheniia*, Nauchnoe izdanie. M.: Izdatelstvo Assotiatcii stroitelnykh vuzov, 2007, pp. 26–27.
7. Metakovskiy M. *Ekonomicheskaiia effektivnost ekspluatatsii «Intellektualnykh obektov»*, Available at: http://www.bacnet.ru/knowledge-base/articles/index.php?ELEMENT_ID=769 (accessed 24 April 2016).
8. Nizovtcev M.I. *Raschetno-eksperimentalnye issledovaniia energoeffektivnykh elementov ograzhdaiushchikh konstruktsiy i klimaticheskogo oborudovaniia zdaniy*: Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk, Tiumen, 2009, pp. 305.
9. Petrova I.YU., Zariyova V.M., Lezhnina Iu.A. *Proektirovanie informatsionno-izmeritelnykh i upravliaiushchikh sistem dlia intellektualnykh zdaniy*. Napravleniia dalneshego razvitiia, Vestnik MGSU, 2015, no 12, pp. 147–160.
10. Tabunshchikov Iu.A., Brodach M.M. *Matematischeskoe modelirovanie i optimizatsiia teplovoy effektivnosti zdaniy*. M.: AVOK-PRESS, 2002. pp. 174–175.
11. Ustinov V. *Mikroklimat i kachestvo vozdukha v ofisnykh zdaniakh*. Sravnenie norm Rossii i ES, AVOK no. 3 2015, Available at: http://zvt.abok.ru/upload/pdf_articles/197.pdf (accessed 24 April 2016).

12. Andris Auliciems and Steven V. Szokolay // Thermal Comfort, PLEA Notes 1997. pp. 65.
13. Aparicio P., et al. Control of HVAC system comfort by sampling, Proceedings of International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (ICIEOM 2012). Portugal, Guimarães, July 9–11, 2012, pp. 10.
14. Ahmad M.W., Mourshed M., Yuce B., Rezgui Y. Computational intelligence techniques for HVAC systems: A review, BUILD SIMUL (2016) 9: P. 359–398, DOI 10.1007/s12273-016-0285-4.
15. Collotta M., Messineo A., Nicolosi G. and Pau G. A Dynamic Fuzzy Controller to Meet Thermal Comfort by Using Neural Network Forecasted Parameters as the Input // Energies 2014, 7, pp. 4727–4756; doi:10.3390/en7084727.
16. Donaisky E., Oliveira G.H.C. and Mendes N., Real-time implementation of PID-based thermal comfort control algorithms, Proceedings of 19th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2007) November 5–9, 2007, Brasilia, DF, (<http://www.abcm.org.br/anais/cobem/2007/pdf/COBEM2007-2052.pdf>).
17. Dounis A.I., Caraiscos C. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13. 2009. pp. 1246–1261.
18. Fanger, P.O., Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. // Danish Technical Press. 1970. pp. 244.
19. Ferreira A.P., Mose D., Jae C. Oh Thermal Faults Modeling using a RC model with an Application to Web Farms // 19th EuroMicro Conference on Real-Time system (ECRTS07). 2007. pp. 113–124.
20. Fountain, M., Huizenga, C, A thermal sensation prediction software tool for use by the profession // ASHRAE Transactions. 1997. Vol. 103, Part 2. pp. 130–136.
21. Gassmann O., Meixner H. Sensors in Intelligent Buildings, Volume 2 // Wiley-VCH Verlag GmbH, DOI: 10.1002/3527600302, pp. 106–125.
22. Kishore S.P., Yashwanth V. Suresh Kumar Real time thermal comfort sensing using a computer aided module // IJARECE Vol. 5. issue 2. February 2016. pp. 412–415.
23. Kramer R., J. van Schijndel, Schellen H. Simplified thermal and hygric building models: A literature review. Frontiers of Architectural Research, 2012. 1(4): pp. 318–325.
24. Luikov A.V., *Systems of differential equations of heat and mass transfer in capillary porous bodies*, Int. J. Heat Mass Transfer 18 (1975), pp. 1–14.
25. Nabil Nassif, Stanislaw Kajl, Robert Sabourin, Optimization of HVAC Control System Strategy Using Two-Objective Genetic Algorithm // International Journal of HVAC&R Research. July 2005. Vol. 11. no. 3. pp. 459–486.
26. Perera D.W.U., Pfeiffer C. F., Skeie N.-O. Control of temperature and energy consumption in buildings A review // International journal of Energy and Environment, Volume 5, Issue 4, 2014 pp. 471–484.
27. Rabadi N.J., Developing a Software to Predict Thermal Comfort of Humans at Work // Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. 2011. Vol. 5. no. 4. pp. 359–368.
28. Zaripova V., Petrova I.Iu. *System of Conceptual Design Based on Energy-Informational Model* // Progress in systems engineering, Proceedings of the the 23rd International Conference on Systems Engineering, August, 2014, Las Vegas, NV, Series: Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 1089 2015, pp. 365–373.
29. Zaripov M., Petrova I.Iu., Zaripova V Project of creation of knowledge base on physical and technological effects, IMEKO TC1 Symposium on Education in Measurement and Instrumentation 2002: Challenges of New Technologies Challenges of New Technologies. 2002. pp. 6.