

Расчет и конструирование машин

УДК 621.59

Расчетно-экспериментальное исследование комбинированной установки кондиционирования воздуха

С.А. Гаранов¹, Д.А. Пантеев², А.Н. Соколик³¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1² ООО «ПСН Проперти Менеджмент», 115114, Москва, Российская Федерация, Дербеневская наб., д. 7, стр. 10³ АО «Шнейдер электрик», 127018, Москва, Российская Федерация, Двинцев ул., д. 12, к. 1

An experimental study of a combined air conditioning unit

S.A. Garanov¹, D.A. Panteev², A.N. Sokolik³¹ BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1² PSN Property Management LLC, 115113, Moscow, Russian Federation, Derbenevskaya Nab., Bldg. 7, Block 10³ Schneider Electric JSC, 127018, Moscow, Russian Federation, Dvintsev St., Bldg. 12, Block 1

e-mail: a.sokolik@list.ru



Комбинированные водоиспарительные установки являются приоритетным направлением развития традиционных систем кондиционирования воздуха. Многие организации в России и за рубежом ведут научно-исследовательские работы в этом направлении. Однако сведений об этих системах в открытом доступе нет. Авторами статьи разработана математическая модель комбинированной установки кондиционирования воздуха (УКВ), выполнено математическое моделирование работы этой установки для различных климатических зон Российской Федерации. Установлено влияние эффективности отдельных элементов на эффективность установки в целом. Экспериментальные исследования комбинированных УКВ и проверка корректности принятых допущений выполнены на специально созданном стенде, позволяющем моделировать различные тепло-влажностные параметры окружающей среды и воздуха помещения. Для проведения экспериментов был спроектирован и изготовлен косвенно-испарительный теплообменник оригинальной конструкции. Получены экспериментальные значения холодильного коэффициента комбинированной УКВ и зависимость этого коэффициента от температурного КПД косвенно-испарительного теплообменника для различных климатических зон. Экспериментальные данные сопоставлены с результатами математического моделирования. Результаты эксперимента подтвердили корректность принятых при расчете допущений.

Ключевые слова: водоиспарительная установка, кондиционирование воздуха, температурный КПД, косвенно-испарительный теплообменник.



A combined vapor compression — indirect evaporative cooling system is a promising concept for conventional air conditional systems. Various organizations in Russia and abroad carry out research in this area. However, there is no data on the subject available in the public domain. The authors of the article developed an analytical model of the combined air condition-

ing unit. The analytical modelling was performed for various climate zones present in the Russian Federation. The influence of the component efficiency on the efficiency of the system as a whole was established. The experimental research and assumption validation were performed on a specially designed testing stand. It allowed simulating various temperature and humidity conditions of the environment and the indoor air. An indirect evaporation heat-exchanger of an original design was made to conduct the experiments. Experimental data for the cooling capacity of the combined unit was obtained. The dependence of the cooling capacity on the thermal efficiency of the indirect evaporation heat-exchanger was established for the various climate zones. The experimental data and the analytical modelling results were compared. The experimental results have confirmed the correctness of the initial assumptions.

Keywords: indirect evaporative cooling unit, air conditioning, thermal effectiveness, indirect evaporation heat-exchanger.

При проектировании систем кондиционирования воздуха значительную роль при выборе того или иного решения имеет энергетическая эффективность, что обусловлено как постоянным повышением тарифов на электроэнергию и дефицитом электрических мощностей в условиях плотной застройки, так и климатическими изменениями, наблюдаемыми в последние годы. Следовательно, назрела необходимость использования новых подходов к разработке и проектированию установок кондиционирования воздуха (УКВ). Комбинированные водоиспарительные установки являются приоритетным направлением развития традиционных систем кондиционирования воздуха [1].

Актуальность исследования комбинированных УКВ подтверждается многочисленными работами по данной тематике и выпуском промышленных образцов в странах Европы и США [2–7]. Однако исследования ведутся коммерческими организациями и подробная информация об эффективности применения, особенностях конструкции и проектирования подобных систем отсутствует в открытом доступе.

Цель работы — повышение энергоэффективности УКВ за счет предварительного охлаждения воздуха перед испарителем и конденсатором холодильной машины, а также прикладное исследование работы комбинированной УКВ в различных климатических зонах Российской Федерации.

В работе [8] рассмотрены различные способы организации водоиспарительного охлаждения, разработана математическая модель комбинированной УКВ, проведено математическое моделирование работы установки в климатических зонах, характерных для Российской Федерации, и установлено влияние эффективности отдельных элементов на эффективность установки в целом.

В основе математической модели использованы известные зависимости для расчета свойств влажного воздуха:

давление насыщенных паров $P_n = f(t)$, Па;
 температура насыщенного пара $T_n = f(P_n)$, °С;
 влагосодержание воздуха $d = f(P, P_n, f)$, г/кг;
 теплоемкость влажного воздуха $c_{p, в.в} = f(d)$, кДж/(кг·К);

энтальпия влажного воздуха $i_{в.в} = f(t, d)$, кДж/кг;

парциальное давление водяного пара $P_n = f(d, P)$, Па;

плотность влажного воздуха $\rho_{в.в} = f(P, t, P_n)$, кг/м³;

относительная влажность воздуха $\phi_{в.в} = f(P_n, P_n)$, %.

Исходные данные для расчета (задаются):

параметры воздуха окружающей среды и кондиционируемого помещения;

температура и расход приточного воздуха;

потери давления в элементах воздушного тракта и располагаемый напор приточного и вытяжного вентиляторов;

КПД вентиляторов и двигателей вентиляторов;

значение холодильного коэффициента в зависимости от температуры кипения и конденсации хладона по данным производителя компрессора пароконденсационной холодильной машины.

Также задаются значения оптимизируемых параметров:

недорекуперация на холодном конце косвенно-испарительного теплообменника (КИТО) $\Delta t_{x, КИТО}$, °С. Данный параметр непосредственно влияет на температурный КПД КИТО, долю холодопроизводительности УКВ, полученную без использования компрессора пароконденсационной холодильной машины, а также на температуру воздуха продувочного потока на входе в конденсатор;

недорекуперация на холодном конце испарителя парокомпрессионной холодильной машины $\Delta t_{исп.х}$, °С. Этот параметр определяет температуру кипения хладагента;

недорекуперация на горячем конце конденсатора парокомпрессионной холодильной машины $\Delta t_{конд.г}$, °С. Данный параметр непосредственно влияет на температуру конденсации хладагента.

Алгоритм расчета комбинированной УКВ приведен на рис. 1.

При разработке математической модели комбинированной УКВ были приняты следующие условия и допущения:

относительная влажность продувочного потока на входе в КИТО составляет 90 %;

нагрев вытяжного потока в мокрых каналах КИТО осуществляется с подводом воды и постоянной влажностью 90 %;

теплопритоки в установку и перетечки потоков внутри УКВ пренебрежимо малы, объемные расходы приточного и вытяжного воздуха равны;

эффективность работы КИТО оценивается температурным КПД;

температура перегрева и переохлаждения хладагента равны 5 °С; тип хладагента R407C;

потребляемая мощность компрессора рассчитывается по данным производителя с уче-

том полученных при расчете значений температур кипения и конденсации хладагента.

Разработанная математическая модель позволяет моделировать работу комбинированной установки в широком диапазоне температурно-влажностных параметров окружающей среды и кондиционируемого помещения, а при фиксировании этих параметров — оценить влияние основных элементов системы: КИТО, хладоного испарителя и конденсатора, компрессора парокомпрессионной холодильной машины и вентиляторов на энергетическую эффективность установки в целом. Таким образом, с помощью математической модели можно оценить климатические границы эффективного применения комбинированных УКВ и оптимизировать входящие в ее состав элементы.

Для проведения экспериментальных исследований комбинированных УКВ в лаборатории кафедры «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения» МГТУ им. Н.Э. Баумана создан экспериментальный стенд (рис. 2), позволяющий моделировать различные тепловлажностные параметры окружающей среды и воздуха помещения.

Воздушный контур стенда состоит из воздушной заслонки наружного воздуха ЗВ1, фильтра наружного воздуха Ф1, приточного

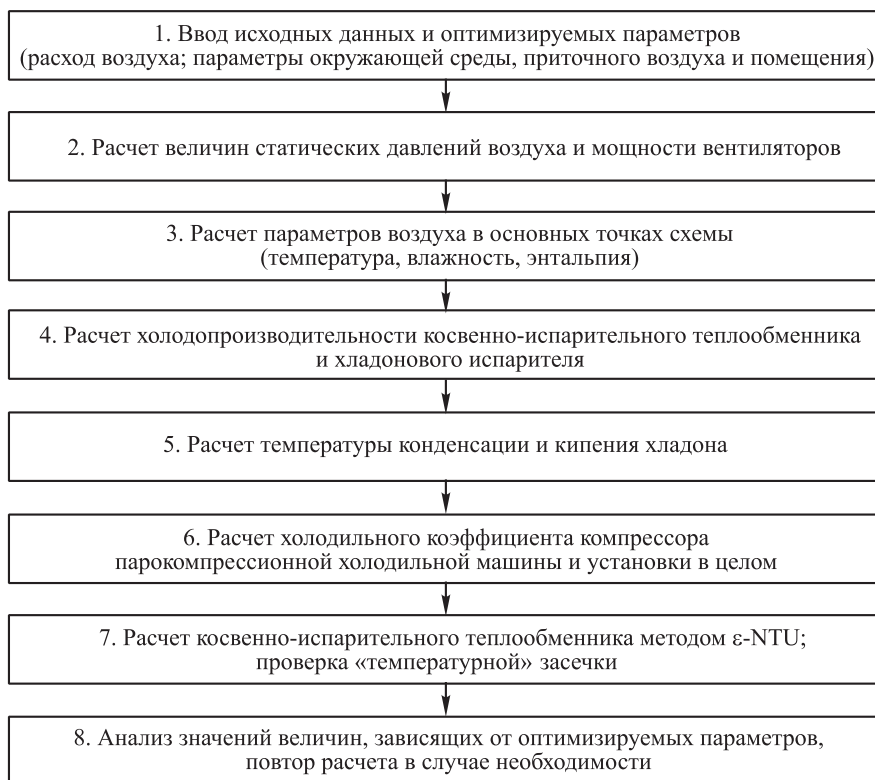


Рис. 1. Алгоритм расчета комбинированной УКВ

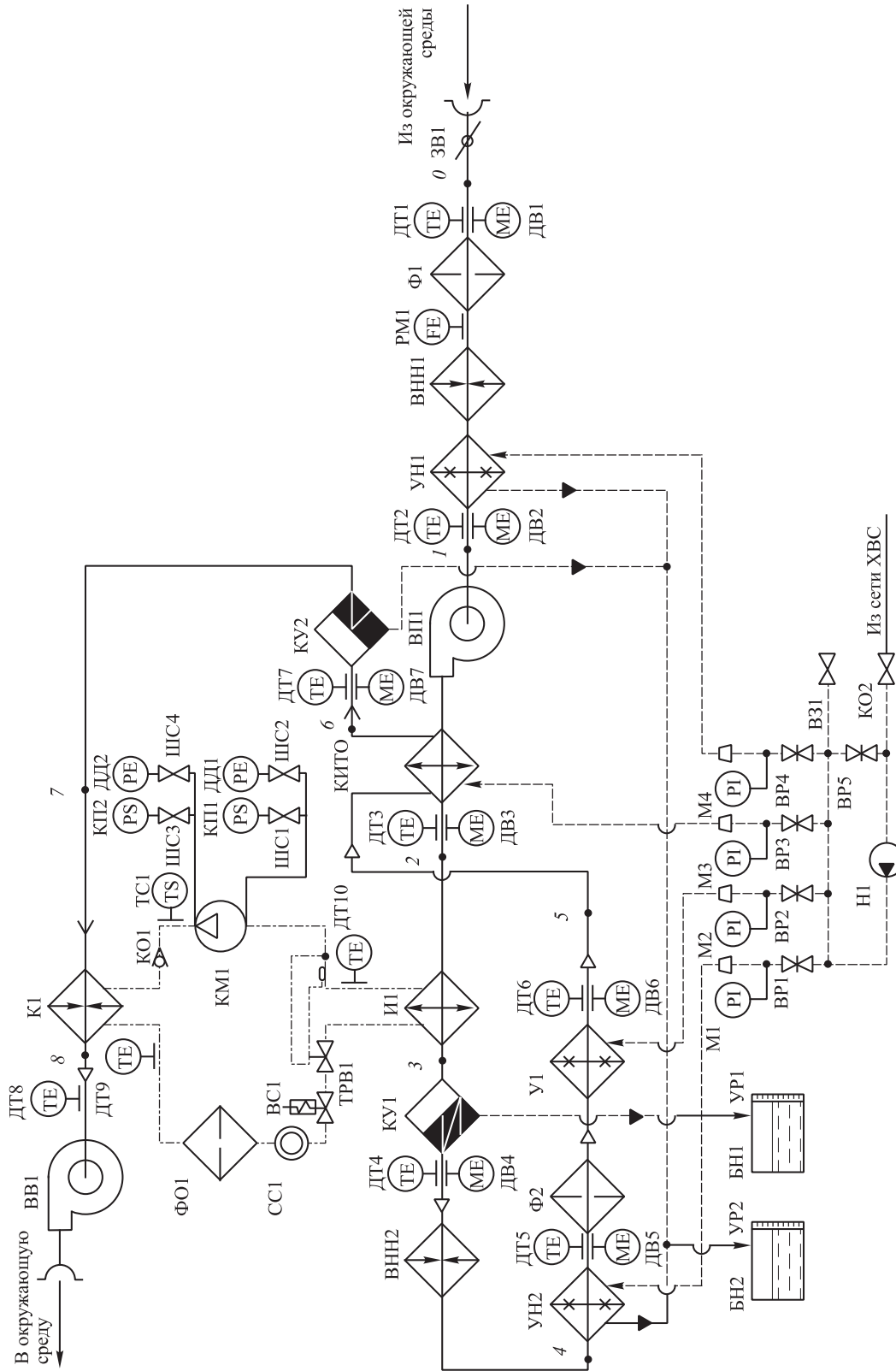


Рис. 2. Пневмо-гидравлическая схема экспериментального стенда комбинированной УКВ:

БН1, БН2 — баки накопительные; ВВ1 — вентилятор вытяжной; ВВ2 — вентилятор выгнанный; ВВН1, ВВН2 — воздухоподогреватели нагрузочные; ВП1 — вентилятор приточный; ВП2 — вентилятор регулировочный; ВС1 — вентилятор соленоидный; ДД1, ДД2 — датчики давления; ДТ1–ДТ10 — датчики температуры; ДВ1–ДВ7 — клапаны влажности; ДВ8 — заслонка воздушная; И1 — испаритель; К1 — конденсатор; КИТО, КМ1 — компрессор; КО1, КО2 — клапаны обратные; КП1, КП2 — пресостаты; КУ1, КУ2 — каплеуловители; М1–М4 — манометры; Н1 — насос водяной циркуляционный; РМ1 — расходомер; СС1 — термометр; ТС1 — термометр; ТРВ1 — термо-регулирующий вентиль; У1 — увлажнитель; УН1, УН2 — увлажнители нагрузочные; УР1, УР2 — указатели уровня; Ф1, Ф2 — фильтры воздушные; Ф01 — фильтр-осушитель; ШС1–ШС4 — штуцеры сервисные; 1–8 — рабочие точки; — — — воздушная магистраль; - - - - - холодная магистраль; - . - . - . — водяная магистраль

вентилятора ВП1, вытяжного вентилятора ВВ1, КИТО, испарителя И1, конденсатора К1, увлажнителя У1 воздуха продувочного потока теплообменника-рекуператора, нагрузочных воздухонагревателей ВНН1 и ВНН2, нагрузочных увлажнителей УН1 и УН2, каплеуловителей КУ1 и КУ2, шумоглушителей ШГ1 и ШГ2.

В состав *водяной контура* установки входят: баки накопительные БН1, БН2, насос водяной Н1, регулирующие вентили ВР1–ВР5, манометры М1–М4.

Холодильный контур состоит из следующих элементов: соленоидный вентиль ВС1, компрессор КМ1, обратный клапан КО1, терморасширительный вентиль ТРВ1, фильтр-осушитель ФО1.

Наружный воздух засасывается в установку, проходит фильтр Ф1, поступает в теплообменник-рекуператор КИТО, затем в испаритель И1. В теплообменнике КИТО и испарителе И1 воздух охлаждается, образовавшийся при этом конденсат задерживается в каплеуловителе КУ1,

и направляется в накопительный бак БН1. Для имитации тепловлажностной нагрузки помещения установлены нагрузочный нагреватель ВНН2 и нагрузочный увлажнитель УН2, в которых параметры воздуха достигают требуемых значений. Затем воздух поступает в адиабатический увлажнитель У1, а далее — в теплообменник-рекуператор КИТО. Воздух в увлажнителе У1 увлажняется с избытком, чтобы в потоке присутствовала капельная влага. Для этого используется вода из водопроводной сети, предварительно очищенная и умягченная. Для предотвращения уноса влаги из системы на выходе из КИТО установлен каплеуловитель КУ2, вода из которого поступает в накопительный бак БН2. Далее воздух проходит конденсатор К1, где нагревается за счет тепла конденсации и удаляется вытяжным вентилятором ВВ1 в окружающую среду. Для снижения шума на входе и выходе установки предусмотрены шумоглушители. Для круглогодичного проведения испытаний на входе в установку смонти-

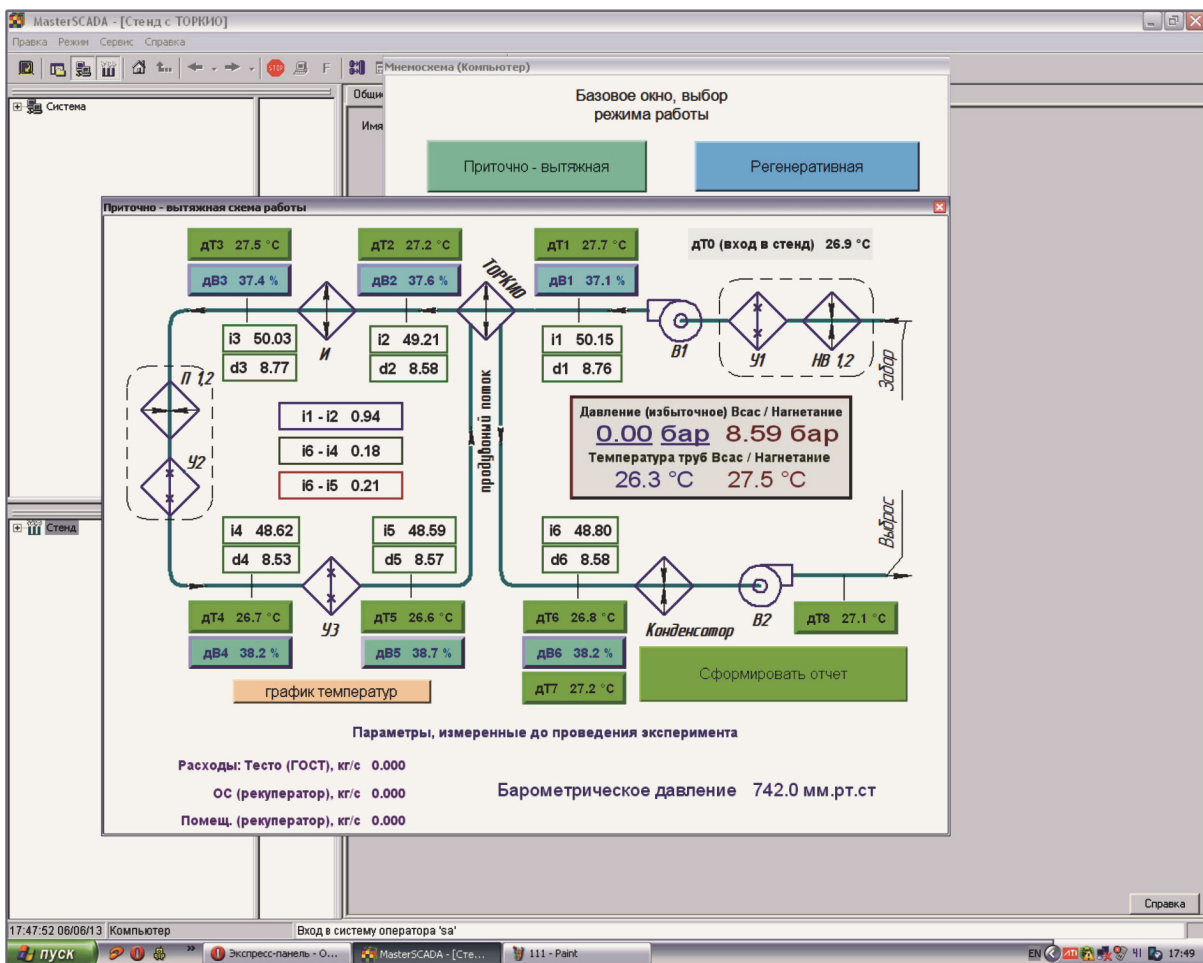


Рис. 3. Интерфейс программы, выводящей и анализирующей показания датчиков стенда (полноцветную версию см. <http://www.izvuzmash.bmstu.ru>)

рованы нагрузочный нагреватель ВНН1 и нагрузочный увлажнитель УН1, с помощью которых можно имитировать различные условия окружающей среды. Нагрузочные увлажнители УН1 и УН2 адиабатического типа, нагрузочные воздухонагреватели ВНН1 и ВНН2 — электрические.

Для вывода установки на режим и обеспечения повторяемости результатов на стенде можно плавно регулировать следующие параметры: тепловую мощность ТЭНов, расход воды, питающей форсунки увлажнителей, холодопроизводительность компрессора и расход воздуха.

В конструкции стенда предусмотрен ряд мер для уменьшения систематической погрешности измерений:

обеспечен длинный прямой участок для измерения расхода;

установлены каплеуловители после увлажнителей;

исключено влияние инфракрасного излучения ТЭНов на показания датчиков.

Система сбора данных включает в себя: датчики температуры, влажности, давления; модули аналогового ввода и ПК со SCADA системой. Для автоматизации сбора, анализа и вывода

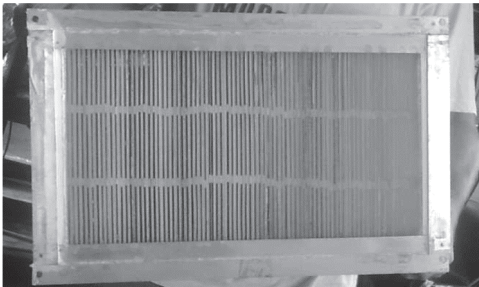
данных с датчиков разработана специальная программа (рис. 3) в среде Master SCADA, реализующая следующие функции:

контроль изменений показаний датчиков в реальном времени для оценки выхода установки на режим;

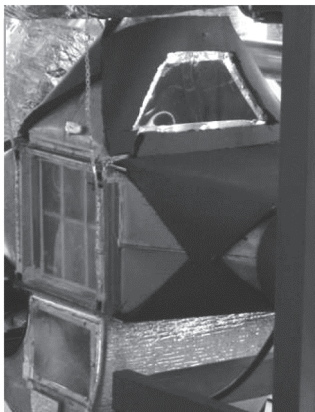
формирование отчета с показаниями датчиков после выхода на режим.

Промышленность производит КИТО из капиллярно-пористых материалов. Однако этим материалам присущи недостатки [9, 10]. Поэтому разработанный для эксперимента КИТО конструктивно выполнен из листов гладкого ПВХ толщиной 1 мм. Расстояние между пластинами выдержано с помощью проставок из вспененного ПВХ толщиной 2 мм. Таким образом, ширина канала для прохода воздуха основного и вспомогательного потоков составила 2 мм (рис. 4, 5). Выбор гладкого ПВХ для теплообменной насадки обусловлен его низкой стоимостью и простотой технологии сборки. В литературе [6, 9] отмечено, что полимерные материалы являются перспективными для изготовления теплообменных насадок.

Подача воды в «мокрые» каналы теплообменника осуществлялась путем распыления воды форсунками на входе в теплообменник. Количество форсунок и высота их установки над теплообменником подбирались эмпирически с визуальным контролем через смотровое окошко. Расход воды, подаваемой на орошение, контролировался по показаниям датчика относительной влажности, который устанавливался после теплообменника (из условия обеспечения относительной влажности на выходе вспомогательного потока из теплообменника ~90 %). При этом визуально контролировалось количество неиспарившейся влаги на выходе из теплообменника.



а



б

Рис. 4. КИТО:

а — общий вид; б — смонтированный на стенде

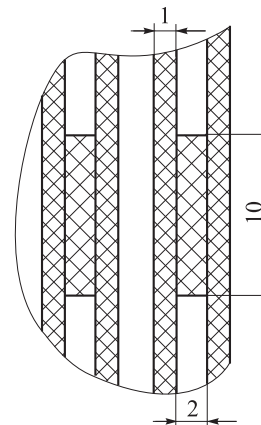


Рис. 5. Конструкция теплообменного пакета перекрестноточного КИТО

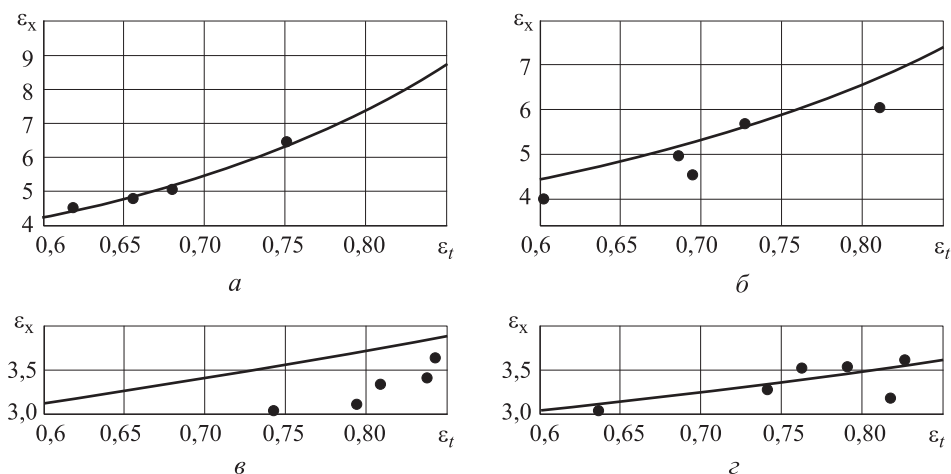


Рис. 6. Зависимость холодильного коэффициента ϵ_x комбинированной УКВ от температурного КПД ϵ_t КИТО при температуре в помещении 25 °С:

- a* — Ашхабад, $t_{OC} = 40$ °С, $\phi_{OC} = 20$ %, $\phi_{пом} = 50$ %, $t_{прит} = 16$ °С;
 - б* — Волгоград, $t_{OC} = 31,3$ °С, $\phi_{OC} = 33$ %, $\phi_{пом} = 50$ %, $t_{прит} = 16$ °С;
 - в* — Москва, $t_{OC} = 26,5$ °С, $\phi_{OC} = 56$ %, $\phi_{пом} = 60$ %, $t_{прит} = 16$ °С;
 - г* — Сочи, $t_{OC} = 27,8$ °С, $\phi_{OC} = 68$ %, $\phi_{пом} = 60$ %, $t_{прит} = 17$ °С;
- — расчет; • — эксперимент

Было проведено четыре серии экспериментов, моделирующих работу установки в различных климатических условиях (окружающей среды — ОС). Цель этих экспериментов — получить экспериментальные значения холодильного коэффициента комбинированной УКВ в зависимости от температурного КПД КИТО, сравнить экспериментальные данные с данными, рассчитанными по математической модели, и подтвердить корректность принятых допущений, в первую очередь, процесса нагрева воздуха продувочного потока в мокрых каналах КИТО при постоянной относительной влажности.

Сопоставление экспериментальных данных с результатами математического моделирования представлено на рис. 6.

Поскольку в математической модели дополнительное сопротивление воздушного тракта экспериментального стенда не учитывается, для наглядности эффектов, получаемых от предварительного водоиспарительного охлаждения, холодильные коэффициенты указаны без учета мощности, потребляемой вентиляторами.

Результаты экспериментов в сухом жарком климате (рис. 6, *a, б*) показали отличную сходимость с математической моделью. На стенде были достигнуты высокие значения холодильного коэффициента: в Ашхабаде — 6,5; в Волгограде — 6,1. Следует отметить, что холодильный коэффициент в указанных климатических зонах экспоненциально зависит от температурного КПД КИТО.

В умеренном и влажном климате (рис. 6, *в, г*) результаты показали хорошую сходимость с ма-

тематической моделью, погрешность не более 15 %. На стенде были достигнуты следующие значения холодильного коэффициента: в Москве — 3,6; в Сочи — 3,7. Следует отметить, что зависимость холодильного коэффициента от температурного КПД КИТО имеет пологий вид, практически линейный.

Отклонения экспериментальных данных от расчетной модели в климатических условиях Москвы обусловлены тем, что на парокompрессионную ступень приходится малая часть общей тепловой нагрузки УКВ. В стенде использован однофазный компрессор с частотно-регулируемым приводом, КПД которого значительно падает при снижении частоты питающего напряжения. В связи с этим, при малой нагрузке на парокompрессионную ступень, компрессор работает при минимально допустимой частоте вращения, и, соответственно, низком КПД.

Выводы

1. Зафиксированные в ходе экспериментальных исследований значения относительной влажности вытяжного потока на выходе из КИТО составили ~86...92 %, что подтверждает корректность принятого допущения о нагреве продувочного потока в обратных каналах КИТО при постоянной относительной влажности.

2. Применение косвенно-испарительного охлаждения воздуха в качестве первой ступени охлаждения УКВ позволяет значительно увели-

чить коэффициент эффективности системы охлаждения, в ходе эксперимента достигнуты значения ~6,5.

3. Основное влияние на холодильный коэффициент комбинированных УКВ оказывают следующие параметры:

разность температуры воздуха окружающей среды и температуры мокрого термометра кондиционируемого помещения;

эффективность (температурный КПД) КИТО; холодильный коэффициент компрессора хладонового контура.

Литература

- [1] *Home Energy Magazine Online May/June 1997*. URL: <http://www.homeenergy.org/show/article/nav/coolingandair/id/1301> (дата обращения 15 марта 2015).
- [2] *Каталог фирмы Kampmann. Klimanaut mission frishluft. Artikelgruppe 3.76, 3.80, 2009-02*. URL: http://www.kampmann.de/download.php?file=pdf_files/prospekte_flyer_de_/produktuebersicht.pdf (дата обращения 28 февраля 2015).
- [3] *Каталог фирмы Coolerado*. URL: <http://www.coolerado.com/products/stand-alone-air-conditioner-products/> (дата обращения 15 февраля 2015).
- [4] *Каталог фирмы Menerga Air-conditioning and climate-control technology. Sorption based air conditioning*. URL: http://www.menerga.com/ImageVault/publishedmedia/6hqlxubx5wd2lrughl0/Sorpsolair_72_73_EN.pdf (дата обращения 15 марта 2015).
- [5] *Технические характеристики воздушных экономайзеров EcoBreeze 990-4600A-028*. URL: http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=445532779&p_File_Name=JBRH-8U4SMN_R0_EN.pdf (дата обращения 10 марта 2015).
- [6] Velasco Gómez E., Tejero González A., Rey Martínez F.J. Experimental characterisation of an indirect evaporative cooling prototype in two operating modes. *Applied Energy*, 2012, vol. 97, pp. 340–346.
- [7] Xuan Y.M., Xiao F., Niu X.F., Huang X., Wang S.W. Research and application of evaporative cooling in China: A review (I) — Research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, vol. 16, iss. 5, pp. 3535–3546.
- [8] Гаранов С.А., Жаров А.А., Пантеев Д.А., Соколик А.Н. Водоиспарительное и комбинированное охлаждение воздуха. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, № 1(13), с. 84–90.
- [9] Горин А.Н. *Альтернативные системы охлаждения и кондиционирования воздуха с использованием испарительного охлаждения*. Дис. ... д-ра техн. наук. Одесса, 2007. 419 с.
- [10] Макаровец Н.А, Костин В.Е., Осипов Е.Н. Новые материалы в технике косвенно-испарительного охлаждения воздуха. *Межотраслевой альманах, Промышленность, Экономика: Новые энергосберегающие технологии*, 2011, № 1, с. 82–84. URL: www.yauza-m.ru/files/sl.doc (дата обращения 15 марта 2015).

References

- [1] *Home Energy Magazine Online May/June 1997*. Available at: <http://www.homeenergy.org/show/article/nav/coolingandair/id/1301> (accessed 15 March 2015).
- [2] *Katalog firmy Kampmann* [Catalogue of companies Kampmann]. *Klimanaut mission frishluft. Artikelgruppe 3.76, 3.80, 2009-02*. Available at: http://www.kampmann.de/download.php?file=pdf_files/prospekte_flyer_de_/produktuebersicht.pdf (accessed 28 February 2015).
- [3] *Katalog firmy Coolerado* [Catalogue of companies Coolerado]. Available at: <http://www.coolerado.com/products/stand-alone-air-conditioner-products/> (accessed 15 February 2015).
- [4] *Katalog firmy Menerga «Air-conditioning and climate-control technology. Sorption based air conditioning»* [Catalogue of companies Menerga «Air-conditioning and climate-control technology. Sorption based air conditioning»]. Available at: http://www.menerga.com/ImageVault/publishedmedia/6hqlxubx5wd2lrughl0/Sorpsolair_72_73_EN.pdf (accessed 15 March 2015).
- [5] *Tekhnicheskie kharakteristiki vozdushnykh ekonomayzerov EcoBreeze 990-4600A-028* [Specifications of air economizers EcoBreeze 990-4600A-028]. Available at: http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=445532779&p_File_Name=JBRH-8U4SMN_R0_EN.pdf (дата обращения 10 марта 2015).

- schneider-electric.com/files?p_File_Id=445532779&p_File_Name=JBRH-8U4SMN_R0_EN.pdf (accessed 10 March 2015).
- [6] Velasco Gómez E., Tejero González A., Rey Martínez F.J. Experimental characterisation of an indirect evaporative cooling prototype in two operating modes. *Applied Energy*, 2012, vol. 97, pp. 340–346.
- [7] Xuan Y.M., Xiao F., Niu X.F., Huang X., Wang S.W. Research and application of evaporative cooling in China: A review (I) — Research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, vol. 16, iss. 5, pp. 3535–3546.
- [8] Garanov S.A., Zharov A.A., Panteev D.A., Sokolik A.N. Vodoisparitel'noe i kombinirovannoe okhlazhdenie vozdukhа [Photospreteen and combined cooling air]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovations]. 2013, no. 1(13), pp. 84–90.
- [9] Gorin A.N. *Al'ternativnye sistemy okhlazhdeniia i konditsionirovaniia vozdukhа s ispol'zovaniem isparitel'nogo okhlazhdeniia*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Alternative cooling systems and air conditioning systems using evaporative cooling. Dr. tech. sci. diss.]. Odessa, 2007. 419 p.
- [10] Makarovets N.A., Kostin V.E., Osipov E.N. Novye materialy v tekhnike kosvenno-isparitel'nogo okhlazhdeniia vozdukhа [New materials in engineering indirectly, evaporative cooling]. *Mezhotraslevoi al'manakh, Promyshlennost', Ekonomika: Novye energosberegaiushchie tekhnologii* [Interbranch almanac, Industry, Economy: New energy saving technologies]. 2011, no. 1, pp. 82–84. Available at: www.yauza-m.ru/files/sl.doc (accessed 15 March 2015).

Статья поступила в редакцию 25.03.2015

Информация об авторах

ГАРАНОВ Сергей Александрович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

ПАНТЕЕВ Даниил Андреевич (Москва) — главный инженер проектов ООО «ПСН Проперти Менеджмент» (115114, Москва, Российская Федерация, Дербеневская наб., д. 7, стр. 10).

СОКОЛИК Андрей Николаевич (Москва) — системный инженер АО «Шнейдер электрик» (127018, Москва, Российская Федерация, Двинцев ул., д. 12, к. 1, e-mail: a.sokolik@list.ru).

Information about the authors

GARANOV Sergey Aleksandrovich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Refrigerating and Cryogenic Equipment, Environmental Control and Life-Support Systems. BMSTU (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1).

PANTEEV Daniil Andreevich (Moscow) — Chief Engineer (Projects), PSN Property Management LLC (115113, Moscow, Russian Federation, Derbenevskaya Nab., Bldg. 7, Block 10).

SOKOLIK Andrey Nikolaevich (Moscow) — System Engineer, Schneider Electric JSC (127018, Moscow, Russian Federation, Dvintsev St., Bldg. 12, Block 1, email: a.sokolik@list.ru).