

Экспериментальное определение количества уносимой влаги из сотового увлажнителя при изменении направления воздушного потока

Рецензия эксперта на статью получена
03.03.2020 [Expert review on the article
received on Mart 03, 2020].

Несмотря на значительные достижения в области теоретического анализа и численного моделирования процессов тепло- и массообмена в аппаратах обработки притока систем механической вентиляции и кондиционирования воздуха, из-за сложности таких процессов и большого количества различных факторов, влияющих на их протекание, экспериментальные исследования в данной области являются необходимыми и неизбежными. Такие исследования обычно преследуют две основные задачи: подтверждение теоретических гипотез и получение численных характеристик оборудования либо числовых коэффициентов в зависимостях, структура которых определена теоретическим путём.

Бурный рост рынка коммерческой недвижимости, начавшийся в 2000-х годах, продолжается и сегодня не только в России, но в целом во всём мире. Во многих источниках отмечается, что общая тенденция развития рынка такой недвижимости является устойчивой и долгосрочной. Но в тоже время наблюдается изменение подхода к реализации концепций соответствующих зданий и сооружений.

Например, торгово-развлекательные центры (ТРЦ), торговые центры (ТЦ) строятся и реконструируются с одновременным совершенствованием и усложнением стратегии и технологии продаж для того, чтобы обеспечить удобство покупки товаров и услуг, что, в свою очередь, приводит к более быстрому возврату инвестиций и получению дохода [1]. Современные ТРЦ, ТЦ рассматриваются не только как инструмент приобретения товаров, но и как место для проведения досуга. В работах [2–6] отмечается, что на покупательную способность человека, на

Общая тенденция развития рынка коммерческой недвижимости является устойчивой и долгосрочной. Но наблюдается изменение подхода к реализации концепций соответствующих зданий и сооружений

его поведение во время совершения покупок и проведения досуга сильное влияние оказывает комфортная внутренняя среда торгового зала, предприятия и др. Ключевым фактором для её создания являются внутренние инженерные системы отопления, вентиляции и кондиционирования.

Кроме того, в соответствии с Федеральным законом от 30 декабря 2009 года №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» должны выполняться требования безопасных условий пребывания и проживания человека при проектировании и возведении объектов недвижимости. Одними из таких показателей являются качество воздуха и микроклимат в помещениях. Для выполнения данных требований, помимо других инженерных решений, разрабатываются и проектируются системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Если говорить именно об общественных зданиях, то следует обращать внимание также на обеспечение и поддержание требуемых параметров микроклимата в пределах оптимального диапазона в соответствии с действующими нормами и правилами (СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»).

УДК 697.921.252:628.8. Научная специальность: 05.23.03.

Экспериментальное определение количества уносимой влаги из сотового увлажнителя при изменении направления воздушного потока

О. Д. Самарин, к.т.н., доцент; **Д. А. Кирушок**, аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

В работе описана конструкция экспериментальной установки для измерения количества жидкой влаги, уносимой из секции увлажнения разработанного авторами приточного агрегата, реализующего косвенное испарительное охлаждение воздуха в тёплый период, за счёт изменения направления воздушного потока по сравнению с холодным периодом года. Показано размещение контрольно-измерительных и регулирующих элементов установки и изложена методика проведения замеров. Представлены основные результаты измерений и их обработки с использованием безразмерных параметров в виде критериального уравнения, связывающего относительное приращение влагосодержания воздуха и его относительную скорость в геометрическом сечении установки. Подтверждены первоначальные теоретические представления авторов о количестве уносимой влаги и возможности использования её теплоты испарения для повышения температурной эффективности рекуператора в приточном агрегате.

Ключевые слова: секция увлажнения, испарение, рекуператор, жидкая влага, влагосодержание, относительная скорость.

UDC 697.921.252:628.8. The number of scientific speciality: 05.23.03.

Experimental determination of the quantity of entrained moisture from the humidifier cell, changing the direction of air flow

O. D. Samarin, PhD, Associate Professor; **D. A. Kirushok**, post-graduate student, National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

This paper describes the design of the experimental setup for measuring the amount of liquid moisture away from the moisture developed by the authors supply unit that implements an indirect evaporative cooling of air in the warm period, due to changes in air flow direction compared to the cold period of the year. The placement of control and measuring and regulating elements of the installation is shown and the method of measurement is described. The main results of measurements and their processing using dimensionless parameters are presented in the form of a criterion equation that relates the relative increment of air moisture content and its relative velocity in the geometric section of the installation. Authors initial theoretical ideas about the amount of moisture carried away and the possibility of using its heat of evaporation to increase the temperature efficiency of the heat recovery unit in the supply unit are confirmed.

Key words: humidification section, evaporation, heat recovery unit, liquid moisture, moisture content, relative velocity.

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха (КВ) потребляют достаточно много энергетических ресурсов во время эксплуатации здания или сооружения, а иногда могут являться и основными потребителями энергии в системах инженерного обеспечения зданий и сооружений, на их долю приходится до 75 % общего энергопотребления [7–9].

В связи с этим за последние годы возрос интерес к энергоэффективным системам обеспечения микроклимата. Известно очень большое многообразие принципиальных схем обработки воздуха системами КВ [10–13].

В частности, была предложена схема, которая предусматривает использование пластинчатого перекрестноточного рекуператора в тёплый период года для охлаждения наружного (приточного) воздуха [14]. Однако недостатком такой схемы является невозможность использования секции адиабатного увлажнения в холодный период года. В связи с этим авторами была разработана принципиальная схема установки КВ, предусматривающая использование в тёплый период года того же теплообменника и секции увлажнения, которые уже установлены в приточно-вытяжной установке, исходя из потребностей холодного периода, что сокращает дополнительные капитальные затраты на обработку воздуха [15].

Поскольку основной особенностью, отличающей рассматриваемую установку с точки зрения режима функционирования её отдельных элементов, является то обстоятельство, что в тёплый период года воздушный поток проходит через секцию увлажнения в обратном направлении, необходима экспериментальная проверка работы данной секции в таких условиях. В первую очередь нас интересует, будет ли наблюдаться унос капель жидкой влаги с потоком воздуха из-за отсутствия каплеуловителя в передней части секции, которая вследствие переключения становится теперь хвостовой. Данный вопрос имеет значение прежде всего с точки зрения возможности реализации одного из предполагаемых преимуществ предлагаемой схемы обработки приточного воздуха по сравнению с существующими аналогами, а именно увеличения температурной эффективности пластинчатого рекуператора в тёплый период вследствие испарения уносимых капель на поверхности теплообмена и отвода дополнительного количества теплоты, необходимого на испарение, от охлаждаемого потока через поверхность.

В случае, если данный эффект будет наблюдаться, необходимо оценить унос

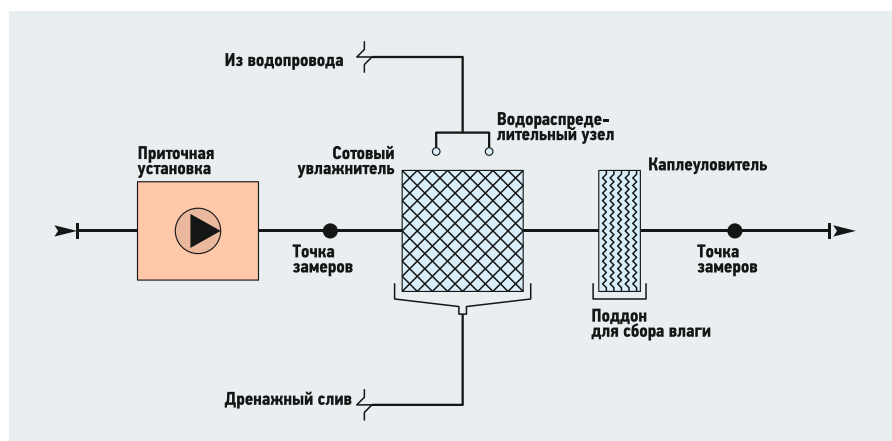


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

влаги количественно и выявить его зависимость от основных факторов, характеризующих режим работы увлажнителя, в первую очередь от скорости движения воздуха в геометрическом сечении секции, а также, при возможности, от расхода подаваемой в аппарат воды и длины его плёноконесущей насадки. При известной воздухопроизводительности экспериментальной установки L_v [м³/ч] это позволит определить удельное содержание жидкой влаги в охлаждающем потоке Δd [г/кг] и сопоставить с полученным ранее авторами теоретическим путём [15] предельным уровнем, при превышении которого влага уже перестанет испаряться из-за недостатка теплоты, подводимой от охлаждаемого потока.

Будет ли наблюдаться унос капель жидкой влаги с потоком воздуха из-за отсутствия каплеуловителя в передней части секции, которая становится теперь хвостовой?

Принципиальная схема опытного стенда изображена на рис. 1, а его конструкция показана на рис. 2.

Интересующий нас уровень Δd по результатам замеров вычисляется как отношение $(G_w/G_v)10^3$, где G_v — массовый расход подаваемого установкой воздуха [кг/ч], равный произведению L_v на плотность притока $\rho_v = 1,2$ кг/м³; G_w — массовый расход уносимой жидкой влаги, улавливаемой каплеотбойником, кг/ч. Его величина определялась непосредственно объёмным методом, по времени заполнения мерной ёмкости.

Регулирование значения L_v в ходе эксперимента производилось путём изменения аэродинамического сопротивления сети, а численная оценка L_v осуществлялась косвенным методом, с помощью измерения скорости потока v_v [м/с] в нескольких точках поперечного сечения и её последующего осреднения, после чего $L_v = 3600 v_v f_T$, где f_T — геометрическое сечение установки, м².

Результаты экспериментального исследования представлены в табл. 1.



Рис. 2. Конструкция опытного стенда

Результаты замеров уноса жидкой влаги и данные их обработки

табл. 1

Факт. скорость в геометрическом сечении установок V_f , м/с	Масса уносимой влаги за 10 мин. работы экспериментальной установки, г	Масса уносимой влаги за 60 мин. работы экспериментальной установки, г	Факт. объёмный расход воздуха L_f , м³/ч	Факт. массовый расход воздуха G_f , кг/ч	Удельное содержание жидкой влаги в охлаждающем потоке Δd , г/кг
2,0	0	0	650	800	0
3,1	47	282	1005	1240	0,235
4,0	95	570	1300	1600	0,35
5,2	149	894	1685	2075	0,455

На основе экспериментальных данных составлен график зависимости уноса влаги из секции сотового увлажнителя от относительной скорости $v_{отн}$, представленный на рис. 3. Величина $v_{отн}$ как:

$$v_{отн} = v_f / v_{ном} = L_f / L_{ном}, \quad (1)$$

где v_f — фактическая скорость воздушного потока в геометрическом сечении экспериментальной установки, м/с; $v_{ном}$ — номинальная скорость для установок рассматриваемого типа, равная 2,5 м/с; L_f и $L_{ном}$ — соответственно, фактический расход воздуха в экспериментальной установке и его номинальное значение для установок рассматриваемого типа с тем же геометрическим сечением, принимаемое по техническим данным (каталогам) заводов-изготовителей, м³/ч.

Для установок рассматриваемого типа вном находится следующим образом:

$$v_{ном} = L_{ном} / (3600 f_T), \quad (2)$$

здесь f_T — геометрическое сечение выбранной установки, м².

В качестве базовых установок в данном случае были выбраны приточные агрегаты по типу ВЕРОСА-300 фирмы «ВЕЗА», ANR и UTR фирмы Korf, а также Airned фирмы NED.

Положение экспериментальных точек на графике с достаточной точностью описываются следующей аппроксимационной формулой:

$$\Delta d = 0,48 \ln(v_{отн}) + 0,12. \quad (3)$$

Таким образом, по результатам экспериментального исследования подтверждено наличие уноса влаги из секции увлажнения при изменении направления потока воздуха и получена зависимость величины уноса от относительной

Системы кондиционирования и вентиляции воздуха потребляют достаточно много энергоресурсов, а иногда являются и основными потребителями энергии в системах инженерного обеспечения зданий и сооружений, на их долю приходится до 75% общего энергопотребления. За последние годы возрос интерес к энергоэффективным системам обеспечения микроклимата. Известно большое многообразие принципиальных схем обработки воздуха СКВ

скорости воздуха в геометрическом сечении установки. Кроме того, показано, что максимальный уровень фактической величины уноса является величиной того же порядка, что и предельное значение, определённое в [15] из условия способности полного испарения в рекуператоре, и, следовательно, предложенная авторами схема действительно позволяет использовать теплоту испарения капель для повышения температурной эффективности теплообменника. Полученное соотношение для Δd представлено в виде критериального уравнения, связывающего безразмерные параметры, и поэтому имеет достаточно общий вид, пригодный для оценочных расчётов для всех приточных установок исследованных типов. ●

1. Мотылев С.С. Рынок торговой недвижимости: концептуальные особенности развития инфраструктуры розничной торговли в России // Вестник РГЭУ (РИНХ), 2014. №3. С. 90–95.
2. Рыжухина Е.Е., Баканкова Е.М. Факторы внутренней среды предприятия, формирующие атмосферу торгового зала // Экономика и управление: новые вызовы и перспективы, 2013. №5. С. 185–187.
3. Рябова О.Н., Шальнова М.Е. Воздействие условий организации торговли на поведенческие особенности потребителей // Научный поиск, 2016. №4. С. 55–57.
4. Bohl P. The effects of store atmosphere on shopping behavior: A literature review. Working Paper. BCE Marketing Media Intezet. Budapest, Hungary. 2012. 23 p.
5. Персера М.И. Влияние параметров микроклимата на самочувствие человека / Образование. Наука. Производство: Сб. докл. IX Межд. молодёжн. форума. 01–10.11.2017. — Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. С. 1150–1155.
6. Жигайло К.Ю. Микроклимат на ОАО «Колос» и его влияние на организм человека в процессе трудовой деятельности / Образование. Наука. Производство: Сб. докл. IX Межд. молодёжн. форума. 01–10.11.2017. — Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. С. 2010–2014.
7. Наумов А.Л., Капко Д.В. Локальные системы кондиционирования воздуха в офисных зданиях // АВОК, 2012. №2. С. 14–21.
8. Мурашко В.П. Системы кондиционирования воздуха. Теория и практика. — М.: Евроклимат, 2017. 627 с.
9. Мотрев А.А. Технические решения систем кондиционирования и отопления / Альманах научных работ молодых учёных: XLV Науч. и учеб.-метод. конф. Университета ИТМО. Т. 3. 02–06.02.2016. — СПб.: Университет ИТМО, 2016. С. 295–298.
10. Robert McDowall. Fundamentals of HVAC Systems. Elsevier. London, England. 2006. 217 p.
11. Кокорин О.Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования. — М.: Изд-во АСВ, 2013. 256 с.
12. Гвоздков А.Н., Сулова О.Ю., Королев М.А., Решетников В.И. Регулирование влагосодержания в многозональных СКВ общественных зданий [Электр. текст]. «Инженерный вестник Дона». Режим доступа: ivdon.ru. Дата обрац.: 01.03.2020.
13. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фанкойлами. — М.: Евроклимат, 2003. 398 с.
14. Королева Н.А., Фокин В.М. Применение систем кондиционирования воздуха с испарительным охлаждением в современных зданиях // Вестник ВолГАСУ. Серия: Строительство и архитектура, 2015. Вып. 39. С. 173–182.
15. Самарин О.Д., Кирушок Д.А. Влияние увлажнения вспомогательного потока воздуха на процесс теплообмена в пластинчатом рекуперативном теплообменнике // Строительство и реконструкция, 2019. №3. С. 112–119.

References — see page 62.

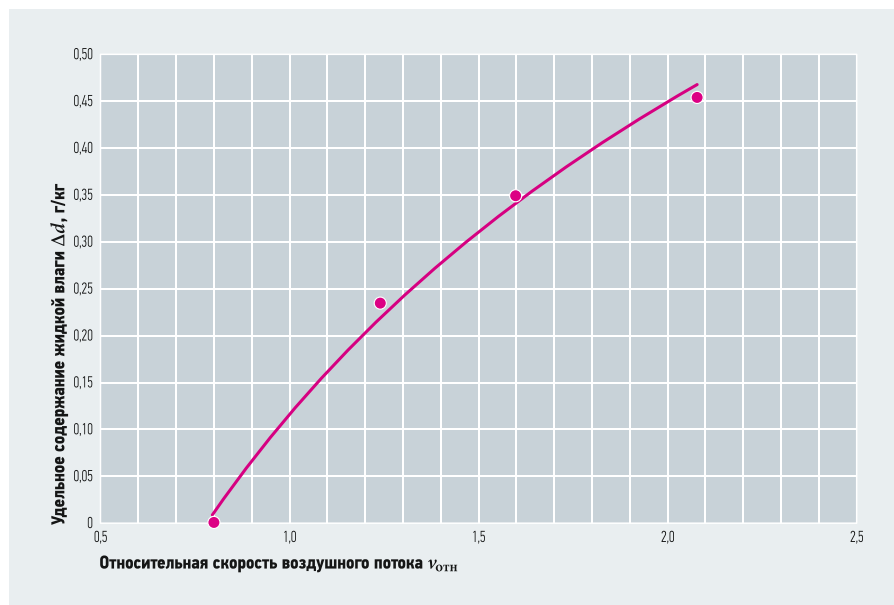


Рис. 3. График зависимости удельного содержания жидкой влаги в охлаждающем потоке от изменения относительной скорости воздушного потока

Experimental determination of the quantity of entrained moisture from the humidifier cell, changing the direction of air flow. Pp. 46–48.

Oleg D. Samarin, PhD, Associate Professor; **Dmitry A. Kirushok**, postgraduate student, National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

1. S.S. Motylev. *Rynok torgovoy nedvizhimosti: konceptual'nye osobennosti razvitiya infrastruktury roznichnoj trgovli v Rossii* [Retail real estate market: conceptual features of the development of retail infrastructure in Russia]. *Vestnik RGJeU (RINH)* [Bulletin of Rostov State University of Economics]. 2014. No. 3. Pp. 90–95. [In Russian]
2. E.E. Ryzhuhina, E.M. Bakankova. *Faktory vnutrennej sredy predpriyatija, formirujushhie atmosferu torgovogo zala* [Factors of the internal environment of the enterprise, forming the atmosphere of the trading floor]. *Jekonomika i upravlenie: novye vyzovy i perspektivy* ["Economics and Management: New Challenges and Prospects" Magazine]. 2013. No. 5. Pp. 185–187. [In Russian]
3. O.N. Rjabova, M.E. Shal'nova. *Vozdejstvie uslovij organizacii trgovli na povedencheskie osobennosti potrebitel'ej* [The impact of the conditions of the organization of trade on the behavioral characteristics of consumers]. *Nauchnyj poisk* ["Scientific search" Magazine]. 2016. No. 4. Pp. 55–57. [In Russian]
4. P. Bohl. The effects of store atmosphere on shopping behavior: A literature review. Working Paper. BCE Marketing es Media Intezet. Budapest, Hungary. 2012. 23 p.
5. M.I. Pererva. *Vlijanie parametrov mikroklimata na samochuvstvie cheloveka* [The influence of microclimate parameters on human well-being]. *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo: Sb. dokl. IX Mezhd. molodezhn. foruma* [Education. Science. Production: Coll. vol. of the IX International Youth Forum]. October 1–10, 2017. Belgorod. BGТУ im. V.G. Shuhova [Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov]. 2017. Pp. 1150–1155. [In Russian]
6. K.Ju. Zhigajlo. *Mikroklimat na OAO "Kolos" i ego vlijanie na organizm cheloveka v processe trudovoj dejatel'nosti* [The microclimate at "Kolos", OJSC, and its impact on the human body in the process of work]. *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo: Sb. dokl. IX Mezhd. molodezhn. foruma* [Education. Science. Production: Coll. vol. of the IX International Youth Forum]. October 1–10, 2017. Belgorod. BGТУ im. V.G. Shuhova [Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov]. 2017. Pp. 2010–2014. [In Russian]
7. A.L. Naumov, D.V. Kapko. *Lokal'nye sistemy kondicionirovaniya vozduha v ofisnyh zdaniyah* [Local air conditioning systems in office buildings]. *AVOK* [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (ABOK)]. 2012. No. 2. Pp. 14–21. [In Russian]
8. V.P. Murashko. *Sistemy kondicionirovaniya vozduha. Teorija i praktika* [Air conditioning systems. Theory and practice]. Moscow. Evroklimat ["Euroclimate", LLC]. 2017. 627 p. [In Russian]
9. A.A. Motrev. *Tekhnicheskie reshenija sistem kondicionirovaniya i otoplenija* [Technical solutions for air conditioning and heating]. *Al'manah nauchnyh rabot molodyh uchennyh: XLV Nauch. i ucheb.-metod. konf. Universiteta ITMO* [The almanac of scientific works of young scientists: XLV Scientific and educational conference of ITMO University]. Vol. 3. February 2–6, 2016. St. Petersburg. *Universitet ITMO* [ITMO University]. 2016. Pp. 295–298. [In Russian]
10. Robert McDowall. *Fundamentals of HVAC Systems*. Elsevier. London, England. 2006. 217 p.
11. O.Ja. Kokorin. *Jenergobezhazhenie v sistemah otoplenija, ventiljacii, kondicionirovaniya* [Energy saving in heating, ventilation, air conditioning systems]. Moscow. *Izd-vo ASV* [Publishing House of the Association of Construction Universities]. 2013. 256 p. [In Russian]
12. A.N. Gvozdkov, O.Ju. Suslova, M.A. Korol'ev, V.I. Reshetnikov. *Regulirovanie vlagosoderzhanija v mnogozonal'nyh SKV obshhestvennyh zdaniy* [Regulation of hygrometric content in multi-zone air conditioning and ventilation systems of public buildings]. *Inzhenernyj vestnik Dona* ["Engineering Bulletin of Don Science" Magazine]. Web-source: ivdon.ru. Access data: Mart 1, 2020. [In Russian]
13. E.M. Belova. *Sistemy kondicionirovaniya vozduha s chillerami i fankojlami* [Air conditioning systems with chillers and fan coil units]. Moscow. Evroklimat ["Euroclimate", LLC]. 2003. 398 p. [In Russian]
14. N.A. Koroleva, V.M. Fokin. *Primenenie sistem kondicionirovaniya vozduha s isparitel'nyh ohlazhdeniem v sovremennyh zdaniyah* [The use of evaporative cooling air conditioning systems in modern buildings]. *Vestnik VolGASU. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. 2015. Issue 39. Pp. 173–182. [In Russian]
15. O.D. Samarin, D.A. Kirushok. *Vlijanie uvlazhnenija vspomogatel'nogo potoka vozduha na process teploobmena v plastinchatom rekuperativnom teploobmennike* [The effect of humidification of the auxiliary air flow on the heat transfer process in a plate recuperative heat exchanger]. *Stroitel'stvo i rekonstrukcija* ["Construction and reconstruction" Magazine]. 2019. No. 3. Pp. 112–119. [In Russian]