

УДК 662.995

Беляновская Е.А.^а, Литовченко Р.Д.^а, Сухой К.М.^а, Губинский М.В.^б, Сухой М.П.^а

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АДСОРБЦИОННОГО РЕГЕНЕРАТОРА ТЕПЛОТЫ И ВЛАГИ

^а ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина^б Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина

Работа посвящена разработке эффективного алгоритма для расчета эксплуатационных характеристик адсорбционного регенератора теплоты и влаги для системы кондиционирования и вентиляции. Предлагается следующая методика расчета: вычисления объема воздуха, который прошел через слой теплоаккумулирующего материала, концентрации воды в воздухе на выходе из теплового аккумулятора, адсорбции, теплоты адсорбции, конечной температуры холодного воздуха, температуры воздуха после смешивания холодного воздуха с улицы и теплого воздуха в помещении при подаче, расчет концентрации воды в воздухе на выходе из теплового аккумулятора, объема воздуха, который прошел через слой теплоаккумулирующего материала, конечной температуры теплого воздуха, температуры воздуха после смешивания холодного воздуха с улицы и теплого воздуха из помещения при выбросе, определения температурного коэффициента полезного действия, суммарной адсорбции и времени достижения максимальной адсорбции. Показана корреляция абсолютной влажности и температур воздуха у теплого и холодного концов регенератора, а также температурных коэффициентов полезного действия, установленных по результатам расчетов согласно предложенного алгоритма и опытным путем. Проведено математическое моделирование процессов эксплуатации адсорбционных регенераторов теплоты и влаги на основе композитов «силикагель – натрий сульфат» в условиях типовой системы вентиляции жилых помещений. Установлено влияние на температурный коэффициент полезного действия времени переключения потоков воздуха, скорости движения потоков воздуха, а также абсолютной влажности и температур наружного и внутреннего воздуха в стационарных условиях. Максимальные значения тепловых коэффициентов полезного действия зарегистрированы при скорости влажного воздуха около 0,22–0,32 м/с и времени переключения потоков 5–10 мин. Показано влияние скорости движения потоков воздуха и его абсолютной влажности на время достижения максимальной адсорбции. Результаты проведенного исследования могут быть использованы при разработке энергоэффективных систем кондиционирования и вентиляции, а также модулей-осушителей для жилых и складских помещений.

Ключевые слова: адсорбционный регенератор теплоты и влаги, температурный коэффициент полезного действия, теплота адсорбции, композитный сорбент.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-3-8

Постановка проблемы

Одной из ключевых проблем эксплуатации систем теплоснабжения в жилищно-коммунальном хозяйстве в странах с холодным климатом является периодическое возрастание концентрации диоксида углерода внутри помещения и, как следствие, нагрузки на отопление, а также

потери, обусловленные подогревом приточного воздуха и инфильтрацией холодного воздуха в помещении [1]. Обычным техническим решением можно считать подогрев приточного воздуха теплым, поступающим из помещения. Однако, в этих условиях происходит загрязнение приточного воздуха. В этих условиях перспектив-

ним решением является внедрение адсорбционного регенератора тепловой энергии и влаги. Но дальнейшую коммерциализацию этих устройств ограничивают как низкие сорбционные свойства традиционных адсорбентов, в частности, силикагеля и цеолитов, так и отсутствие алгоритма определения конструктивных и эксплуатационных характеристик регенераторов на их основе в условиях систем вентиляции и кондиционирования.

Анализ последних исследований и публикаций

Применение адсорбентов для кондиционирования и вентиляции жилых помещения предлагалось в последние несколько десятилетий [2,3]. Технология VENTIREG, разработанная в Институте катализа им. Г.К. Борескова, предполагает применение адсорбционного материала в качестве водного буфера [4]. Причем композитный адсорбент SWS-1A (оксид алюминия, импрегнированный хлоридом кальция) показал лучшие эксплуатационные характеристики, в частности, адсорбционные свойства по сравнению с традиционными диоксидом кремния и оксидом алюминия. Композитные материалы типа «соль в пористой матрице» являются перспективными для поглощения, аккумуляции и трансформации тепловой энергии в системах теплоснабжения [5,6]. Тем не менее, большинство математических моделей рассматривает лишь отдельные аспекты процессов эксплуатации адсорбционных модулей, преимущественно тепло- и массоперенос в процессе адсорбции [7]. Алгоритмы, позволяющие оценить эффективность эксплуатации теплоаккумулирующего устройства, относятся преимущественно к емкостным устройствам [8]. Поэтому становится актуальной задача разработки алгоритма расчета адсорбционного регенератора теплоты и влаги.

Формулирование цели исследования

Представленная работа посвящена разработке алгоритма расчета эксплуатационных характеристик адсорбционного регенератора теплоты и влаги.

Блок-схема предложенного алгоритма представлена на рис. 1. Алгоритм предусматривает расчет температурного коэффициента полезного действия:

$$\eta_{\text{тем}} = \frac{t_{\text{пр}} - t_{\text{внеш}}}{t_{\text{отр}} - t_{\text{внеш}}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{пр}}$ – температура приточного воздуха; $t_{\text{внеш}}$.

– температура внешнего воздуха; $t_{\text{отр}}$ – температура отработанного воздуха.

Температуру приточного воздуха определяли, как температуру после смешивания холодного воздуха с улицы и теплого воздуха в помещении при подаче:

$$t_{\text{кон.ком.после смещ.}} = \frac{V_{\text{ком}} t_{0 \text{ ком}} + V_{\text{под}} t_{\text{кон.ком}}}{V_{\text{ком}} + V_{\text{под}}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{ком}}$ – объем комнаты, м³; $t_{0 \text{ ком}}$ – начальная температура воздуха при выбросе из комнаты, °C; $t_{\text{кон.ком}}$ – конечная температура воздуха при подаче, °C; $V_{\text{под}}$ – объем воздуха, прошедшего через слой теплоаккумулирующего материала при подаче, м³.

Конечную температуру холодного воздуха при подаче определяли по уравнению теплового баланса:

$$t_{\text{кон.ул.}} = \frac{C' t_{0 \text{ ул}} V_{\text{под}} + 4,19 t_{0 \text{ ул}} V_{\text{под}} C_{0 \text{ ул}} + \Delta H_{\text{адс.под}} M_{\text{сорб}}}{C' V_{\text{под}} + 4,19 V_{\text{под}} C_{\text{кон.ком}}}, \quad (3)$$

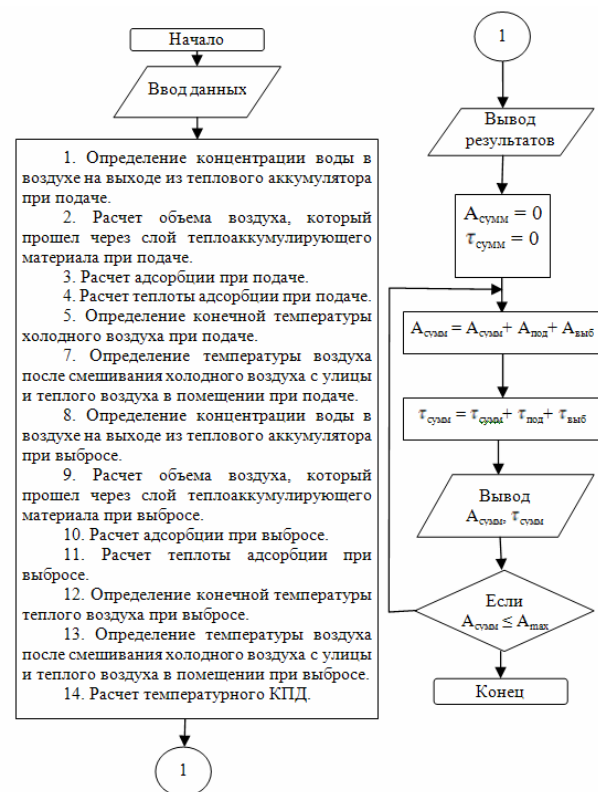


Рис. 1. Блок-схема расчета адсорбционного регенератора теплоты и влаги

где C' – теплоемкость воздуха, $\text{кДж/м}^3\cdot^{\circ}\text{C}$; $t_{0\text{ул}}$ – температура внешнего воздуха (у холодного конца регенератора); $C_{0\text{ул}}$ – начальная абсолютная влажность воздуха возле холодного конца регенератора, кг/м^3 ; $\Delta H_{\text{адс.под}}$ – теплота адсорбции при подаче, кДж/кг ; $M_{\text{сорб}}$ – масса адсорбента, кг ; $C_{\text{кон.ком}}$ – конечная абсолютная влажность при подаче, кг/м^3 .

Температуру отработанного воздуха определяли, как температуру после смешивания холодного воздуха с улицы и теплого воздуха из помещения при выбросе:

$$t_{\text{кон.ул.после смещ.}} = \frac{V_{\text{ул}} t_{0\text{ул}} + V_{\text{выб}} t_{\text{кон.ул}}}{V_{\text{ул}} + V_{\text{выб}}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{ул}}$ – объем воздуха возле внешнего конца регенератора, м^3 ; $V_{\text{выб}}$ – объем воздуха, прошедшего через слой теплоаккумулирующего материала при выбросе, м^3 ; $t_{0\text{ул}}$ – начальная температура внешнего воздуха при выбросе из комнаты, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{кон.ул}}$ – конечная температура воздуха при выбросе, $^{\circ}\text{C}$.

Конечная температура теплого воздуха при выбросе определяется из уравнения теплового баланса:

$$t_{\text{кон.ул.}} = \frac{C' t_{0\text{ком}} V_{\text{выб}} + 4,19 t_{0\text{ком}} V_{\text{выб}} C_{0\text{ком}} + \Delta H_{\text{адс.выб}} M_{\text{сорб}}}{C' V_{\text{выб}} + 4,19 V_{\text{выб}} C_{\text{кон.ул}}}, \quad (5)$$

где C' – теплоемкость воздуха, $\text{кДж/м}^3\cdot^{\circ}\text{C}$; $t_{0\text{ком}}$ – температура внутреннего воздуха (возле теплого конца регенератора); $V_{\text{выб}}$ – объем воздуха, прошедшего через слой теплоаккумулирующего материала, при выбросе, м^3 ; $C_{0\text{ком}}$ – начальная абсолютная влажность воздуха возле теплого конца регенератора, кг/м^3 ; $\Delta H_{\text{адс.выб}}$ – теплота адсорбции при выбросе, кДж/кг ; $M_{\text{сорб}}$ – масса адсорбента, кг ; $C_{\text{кон.ул}}$ – конечная абсолютная влажность при выбросе, кг/м^3 .

Теплоту адсорбции при подаче либо выбросе рассчитывали согласно [9]:

$$\Delta H_{\text{адс}} = \Delta h \cdot a \frac{1000}{M}, \quad (6)$$

где Δh – теплота адсорбции, кДж/моль ; A – адсорбция при подаче либо выбросе, кг/кг ; M – молярная масса воды, г/моль .

Адсорбцию при подаче или выбросе рассчитывали аналогично [10]:

$$\Delta A = \frac{C_0 - C_{\text{кон}}}{M_{\text{сор}}} V, \quad (7)$$

где V – объем воздуха при подаче или выбросе, м^3 ; C_0 – начальная абсолютная влажность при подаче или выбросе, кг/м^3 ; $C_{\text{кон}}$ – конечная абсолютная влажность при подаче или выбросе, кг/м^3 ; $M_{\text{сор}}$ – масса адсорбента, кг .

Конечную абсолютную влажность на выходе из регенератора при подаче или выбросе определяли согласно [10]:

$$C_{\text{кон}} = \frac{C_0}{e^{\frac{[\beta(-\tau \cdot w \cdot C_0) + H]}{w}} + 1}}, \quad (8)$$

где C_0 – начальная абсолютная влажность при подаче или выбросе, кг/м^3 ; A_{max} – предельная адсорбция, кг/кг ; β – коэффициент массопереноса, с^{-1} ; w – скорость влажного воздуха, м/с ; H – высота слоя адсорбента; τ – продолжительность подачи или выброса, с .

Коэффициент массопереноса рассчитывали согласно работе [10]:

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{\beta_p} + \frac{1}{\beta_{\text{пр}}}, \quad (9)$$

где β_y , β_p и $\beta_{\text{пр}}$ – коэффициенты массоотдачи в газовой фазе, в продольном сечении и порах, с^{-1} .

Изложение основного материала исследования

Для апробации предложенного алгоритма расчета использованы экспериментальные данные, представленные в работе [11]. В качестве адсорбента использовано композит «силикагель - натрий сульфат», синтезированный согласно [11]. Результаты расчетов показали периодическую зависимость температур на теплом и холодном концах сорбционного регенератора, которая качественно соответствует опытным данным. Отклонение расчетных температур от экспериментальных не превышает $2-3^{\circ}\text{C}$ на холодном конце регенератора и $1-5^{\circ}\text{C}$ на теплом. Коэффициент полезного действия регенератора по экспериментальным данным составил примерно 95%, а по расчетным примерно 91%.

Таким образом, данную математическую модель можно использовать для качественной оценки эксплуатационных характеристик сорбционных регенераторов в вентиляционных системах.

Предлагается использовать сорбционный регенератор для подогрева приточного воздуха в условиях обычной трехкомнатной квартиры с электрическими кухонными плитами, общей площадью 103 м², высотой 2,5 метра. В качестве адсорбционного материала предложено использовать композит, содержащий 20% силикагеля и 80% натрия сульфата. Согласно результатам проведенного расчета тепловая нагрузка для подогрева приточного воздуха составляет около 327,9 МДж в сутки.

Масса сорбента соответствует тепловой нагрузке и составляет по расчетам 94 кг, а объем 0,130 м³. Таким образом, будет оптимальным вариантом установить в схему 3-х комнатной квартиры 4-х сорбционные регенераторы. Тогда масса сорбента на регенератор составляет 24 кг.

В условиях типичного жилого помещения температурные кривые на теплом и холодном концах регенератора проявляют периодическую

природу. Причем с уменьшением времени переключения (изменения направления) потоков наблюдается существенное снижение амплитуды зависимостей «температура–время», как на теплом, так и на холодном концах устройства. Это способствует повышению коэффициента полезного действия (рис. 2, 3). Максимальные значения коэффициентов полезного действия наблюдаются при скоростях потока влажного воздуха 0,22–0,32 м/с и времени переключения потоков около 5–10 мин.

Время достижения максимальной адсорбции от времени переключения потоков почти не зависит. Более существенно влияет на него скорость потока влажного воздуха, что связано с количеством поданного воздуха.

Также на эффективность работы теплоаккумулирующего устройства влияют метеорологические условия, то есть температура наружного воздуха, с увеличением которой повыша-

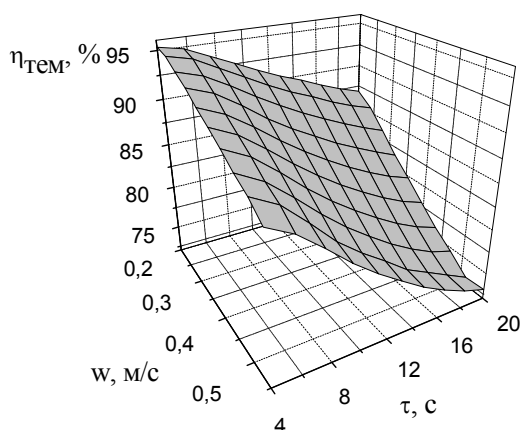


Рис. 2. Влияние скорости потока влажного воздуха и времени переключения потоков на температурный коэффициент полезного действия адсорбционного регенератора

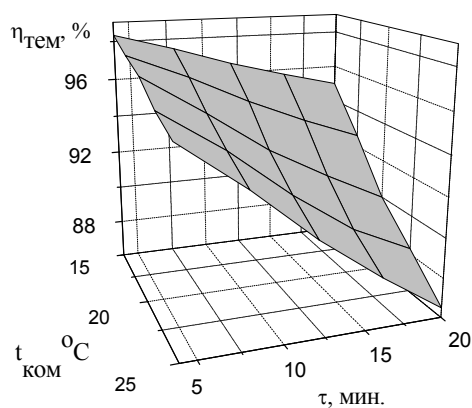


Рис. 3. Влияние температуры влажного воздуха в комнате и времени переключения потоков на температурный коэффициент полезного действия адсорбционного регенератора

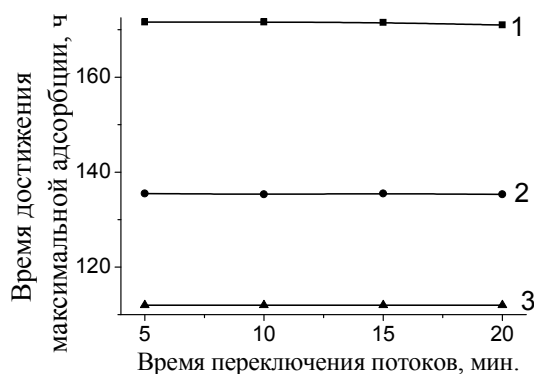
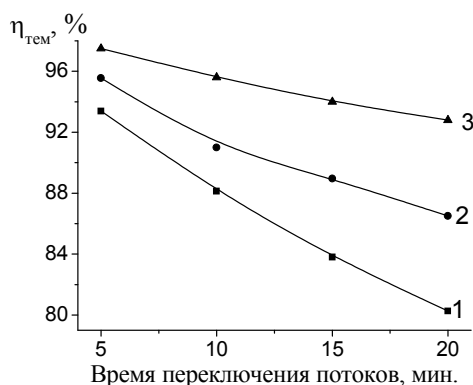


Рис. 4. Влияние абсолютной влажности внешнего воздуха на температурный КПД (а) и время достижения максимальной адсорбции (б). Абсолютная влажность внешнего воздуха, г/м³: 1 – 4,5; 2 – 6,5; 3 – 8,5

ється коефіцієнт полезного действия регенератора (рис. 3). Аналогичным образом влияет на температурный коэффициент полезного действия повышение абсолютной влажности наружного воздуха (рис. 4,а). Это сопровождается, очевидно, увеличением скорости адсорбционных процессов и уменьшением времени достижения максимальной адсорбции (рис. 4,б). Температура наружного воздуха на продолжительность достижения максимальной концентрации почти не влияет. Снижение температуры в комнате способствует повышению коэффициента полезного действия.

Выводы

Проведено исследование процессов эксплуатации системы вентиляции на основе сорбционного регенератора теплоты и влаги. Разработана методика определения основных конструктивных характеристик сорбционного регенератора в условиях системы вентиляции в жилых помещениях.

Показана зависимость величины температурного коэффициента полезного действия от скорости паровоздушного потока и времени переключения потоков. Максимальные значения коэффициентов полезного действия наблюдаются при скоростях потока влажного воздуха 0,22–0,32 м/с и времени переключения потоков около 5–10 мин.

Установлена зависимость температурного коэффициента полезного действия от температур наружного и внутреннего воздуха. Показан рост коэффициента полезного действия при увеличении температур наружного воздуха в интервале от -25 до -3°C .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Östlin R. Evaluation of a Single Family Low Energy Building in Cold Climate // Energy Procedia. – 2017. – Vol.132. – P.9-14.
2. Al-Alili A., Hwang Yu., Radermacher R. Review of solar thermal air conditioning technologies // Int. J. Refrigeration. – 2014. – Vol.39. – P.4-22.
3. Ge T.S., Li Y., Wang R.Z., Dai Y.J.A review of the mathematical models for predicting rotary desiccant wheel // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2008. – Vol.12. – P.1485-1528.
4. Aristov Yu I. Current progress in adsorption technologies for low-energy buildings // Future Cities and Environment. – 2015. – Vol.1. – № 10. – P.1-13.
5. Sorption heat storage for long-term low-temperature applications: A review on the advancements at material and prototype scale / Scapino L., Zondag H.A., Van Bael J., Diriken J., Rindt C.C. M. // Applied Energy. – 2017. – Vol.190. – P.920-948.
6. Grekova A.D., Gordeeva L.G., Aristov Y.I. Composite “LiCl/vermiculite” as advanced water sorbent for thermal energy storage // Applied Thermal Engineering. – 2017. – Vol.124. – P.1401-1408.
7. Multi-physical continuum models of thermochemical heat storage and transformation in porous media and powder beds—A review / Thomas Nagel, Steffen Beckert, Christoph Lehmann, Roger Gläser, Olaf Kolditz // Applied Energy. – 2016. – Vol.178. – P.323-345.
8. Ганжа И.Г., Хищенко А.Г. Тепловое аккумулирование как способ повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 3(97). – С.16-21.
9. Сухий К.М., Коломиец Е.В., Беляновская Е.А. Алгоритм расчета эксплуатационных характеристик адсорбционного аккумулятора тепловой энергии для системы децентрализованного отопления // Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація : збірник наукових праць. – 2016. – № 1(1). – С.65-69.
10. Operating processes parameters of open-type heat storage devices in heat supply systems / Belyanovskaya E.A., Sukhyu K.M., Kolomiets O.V., Sukhyu M.P. // Наукові праці ОНАХТ. – 2017. – Т.81. – Вип. 1. – С.4-9.
11. Operating characteristics of adsorptive regenerator of low-potential heat and moisture based on composite sorbents ‘silica gel – sodium sulphate and silica gel – sodium acetate’ synthesized by sol – gel method / O.V. Kolomiets, K.M. Sukhyu, E.A. Belyanovskaya, V.I. Tomilo, O.M. Prokopenko // Наукові праці ОНАХТ. – 2016. – Т.80. – Вип.1. – С.108-113.

Поступила в редакцію 2.11.2018

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АДСОРБЦІЙНОГО РЕГЕНЕРАТОРА ТЕПЛОТИ ТА ВОЛОГИ

Беляновська О.А., Литовченко Р.Д., Сухий К.М., Губинський М.В., Сухий М.П.

Робота присвячена розробці ефективного алгоритму для розрахунку експлуатаційних характеристик адсорбційного регенератора теплоти та вологи для системи кондиціонування та вентиляції. Пропонується наступна методика розрахунку: обчислення об'єму повітря, яке пройшло через шар теплоакмулюючого матеріалу, концентрації води в повітрі на виході з теплового акумулятора, адсорбції, теплоти адсорбції, кінцевої температури холодного повітря, температури повітря після змішування холодного повітря з вулиці та теплового повітря в приміщенні при подачі, розрахунок концентрації води в повітрі на виході з теплового акумулятора, об'єму повітря, який пройшов через шар теплоакмулюючого матеріалу, кінцевої температури теплового повітря, температури повітря після змішування холодного повітря з вулиці та теплового повітря з приміщення при виході, визначення температурного коефіцієнта корисної дії, сумарної адсорбції та часу досягнення максимальної адсорбції. Показана кореляція абсолютної вологості та температур повітря біля теплового та холодного кінців регене-

ратора, а також температурних коефіцієнтів корисної дії, встановлених за результатами розрахунків згідно з запропонованим алгоритмом та дослідним шляхом. Виконано математичне моделювання процесів експлуатації адсорбційних регенераторів теплоти та вологи на основі композитів «силікагель – натрій сульфат» в умовах типової системи вентиляції житлових приміщень. Встановлено вплив на температурний коефіцієнт корисної дії часу перемикання потоків повітря, швидкості руху потоків повітря, а також абсолютної вологості та температур зовнішнього і внутрішнього повітря в стаціонарних умовах. Максимальні значення теплових коефіцієнтів корисної дії зареєстровано при швидкості вологого повітря близько 0,22–0,32 м/с та часу перемикання потоків 5–10 хв. Показано вплив швидкості руху потоків повітря та його абсолютної вологості на час досягнення максимальної адсорбції. Результати здійсненого дослідження можуть бути використані при розробці енергоефективних систем кондиціонування та вентиляції, а також осушувачів модулів для житлових і складських приміщень.

Ключеві слова: адсорбційний регенератор теплоти та вологи, температурний коефіцієнт корисної дії, теплота адсорбції, композитний сорбент.

CALCULATION ALGORITHM FOR ADSORPTIVE HEAT-MOISTURE REGENERATOR

Belyanovskaya E.A.^a, Lytovchenko R.D.^a, Sukhyi K.M.^a, Gubinskyi M.V.^b, Sukhyi M.P.^a

^a Ukrainian State University of Chemical Engineering, Dnipro, Ukraine

^b National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

The work is devoted to the development of an efficient algorithm for calculating the performance characteristics of adsorption regenerator of heat and moisture for the air conditioning and ventilation system. The following calculation method is proposed: the calculation of the volume of air passing through the layer of heat-accumulating material, the concentration of water in the flow at the exit from the thermal accumulator, the adsorption, the heat of adsorption, the final temperature of the cold air, the air temperature after mixing the cold air from the street and the warm air in the room at the inlet, the calculation of the concentration of water in the flow at the exit from the heat accumulator, the volume of air passing through the layer of heat-accumulating material, the final temperature of the warm district air temperature after mixing the cold air from the street and the warm air from the room at the outlet, determining the temperature coefficient of efficiency, total adsorption and time to achieve maximum adsorption. The correlation of absolute humidity and air temperatures near the warm and cold extremities of the regenerator, as well as the temperature coefficients of efficiency established according to the results of calculations using proposed algorithm and research method, is shown. The mathematical modeling of the processes of operation of adsorption regenerators of heat and moisture on the basis of «silica gel – sodium sulfate» composites in the conditions of the typical ventilation system of residential premises is carried out. Influence on the temperature coefficient of efficiency of air flows switching time, air velocity, as well as absolute humidity and temperature of external and internal air under stationary conditions is established. The maximum values of thermal efficiency coefficients were recorded at the velocity of humid air of about 0.22–0.32 m/s and the switching time of 5–10 minutes. The effect of the velocity are shown of moist air flow and the absolute humidity of the wet air at the time of reaching maximum adsorption are shown. The results of the study can be used in the development of energy efficient air conditioning and ventilation systems, as well as drainage modules for residential and warehouse facilities.

Keywords: adsorption regenerator of heat and moisture, temperature coefficient of efficiency, heat of adsorption, composite sorbent.

REFERENCES

- Östin R. Evaluation of a Single Family Low Energy Building in Cold Climate. *Energy Procedia*, 2017, vol.132, pp.9–14.
- Al-Alili A., Hwang Yu., Radermacher R. Review of solar thermal air conditioning technologies. *Int. J. Refrigeration*, 2014, vol.39, pp.4–22.
- Ge T.S., Li Y., Wang R.Z., Dai Y.J. A review of the mathematical models for predicting rotary desiccant wheel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, vol.12, pp.1485–1528.
- Aristov Yu.I. Current progress in adsorption technologies for low-energy buildings. *Future Cities and Environment*, 2015, vol.1, №10, pp.1–13.
- Scapino L., Zondag H.A., Van Bael J., Diriken J., Rindt C.C. M. Sorption heat storage for long-term low-temperature applications: A review on the advancements at material and prototype scale. *Applied Energy*, 2017, vol.190, pp.920–948.
- Grekhova A.D., Gordeeva L.G., Aristov Y.I. Composite “LiCl/vermiculite” as advanced water sorbent for thermal energy storage. *Applied Thermal Engineering*, 2017, vol.124, pp.1401–1408.
- Nagel T., Beckert S., Lehmann Ch., Gldser R., Kolditz O. Multi-physical continuum models of thermochemical heat storage and transformation in porous media and powder beds – A review. *Applied Energy*, 2016, vol.178, pp.323–345.
- Ganga I.G., Khiminko A.G. *Teplovoe akumulirovanie kak sposob povysheniya energeticheskoy effektivnosti system teplosnabzheniya* [Heat storage as a method of enhancing of energy efficiency of heat supply system]. *Energoberegenie. Energetika. Energoaudit*. 2012, №03 (97), pp.16–21 (in Russian).
- Sukhyi K.M., Kolomiyets E.V., Belyanovskaya E.A. Algoritm rastcheta ekspluatatsionnykh kharakteristik adsorbtsionnogo akkumulyatora teplovoy energii dlya systemy detsentralizovannogo otopleniya [Calculation algorithm of operational characteristics of adsorptive heat storage device for decentralized space heating system]. *Kompiuternye modeluvannya, analys, upravlinnya, optimizatsiya* [Computer modeling: analysis, control, optimization]; *zhurnik naukovykh prats*, 2016, №1(1), pp.65–69. (in Russian)
- Belyanovskaya E.A., Sukhyi K.M., Kolomiyets O.V., Sukhyi M.P. Operating processes parameters of open-type heat storage devices in heat supply systems. *Scientific works of Odessa National Academy of Food Technology*, 2017, vol. 81, №1, pp.4–9.
- Kolomiyets O.V., Sukhyi K.M., Belyanovskaya E.A., Tomilo V.I., Prokopenko O.M. Operating characteristics of adsorptive regenerator of low-potential heat and moisture based on composite sorbents ‘silica gel – sodium sulphate and silica gel – sodium acetate’ synthesized by sol – gel method. *Scientific works of Odessa National Academy of Food Technology*, 2016, vol.80, pp.108–113.