

УДК 697.93

Монаркина Татьяна Владимировна, аспирант кафедры теплогазоводоснабжения, Вологодский государственный университет, г. Вологда

Монаркин Николай Николаевич, доцент кафедры теплогазоводоснабжения, Вологодский государственный университет, г. Вологда

ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ВЛАГИ В КОМПАКТНЫХ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

Аннотация

В работе представлен анализ сорбентов для утилизации влаги из воздуха в компактных децентрализованных вентиляционных установках, сравнивая их по влагоемкости, возможности регенерации, области применения и другим характеристикам. В частности, сопоставляются силикагель, цеолиты, активированный уголь и другие. Определено, что наиболее подходящим является силикагель как универсальный и экономичный сорбент. Представлен алгоритм расчета количества сорбента, включающий определение расхода влаги, выбор сорбента (с учетом его влагоемкости и времени адсорбции) и расчет требуемой массы/объема с запасом. Приводится пример расчета для силикагеля в компактных установках, показывающий потребность в 0.003-0.01 м³ сорбента при толщине слоя 10-30 см. Отмечается необходимость экспериментальной проверки эффективности.

Annotation

The paper presents an analysis of sorbents for the utilization of moisture from the air in compact decentralized ventilation systems, comparing them in terms of moisture capacity, regeneration capabilities, applications and other characteristics. In particular, silica gel, zeolites, activated carbon and others are compared. It was determined that silica gel is the most suitable as a universal and economical sorbent. An algorithm for calculating the amount of sorbent is presented, including

determining the moisture consumption, selecting the sorbent (taking into account its moisture capacity and adsorption time) and calculating the required mass/volume with a margin. An example of calculation for silica gel in compact installations is given, showing the need for 0.003-0.01 m³ of sorbent with a layer thickness of 10-30 cm. The need for experimental verification of effectiveness is noted.

Ключевые слова: компактная децентрализованная вентиляционная установка, утилизация влаги, сорбент, силикагель

Keywords: compact decentralized ventilation device, moisture utilization, sorbent, silica gel

В современном мире вопросы энергоэффективности и экологической безопасности становятся всё более актуальными. Одним из ключевых аспектов этих проблем является управление влажностью воздуха в помещениях, особенно в системах вентиляции. Влага, растворенная в воздухе, в зависимости от ее концентрации может оказывать как положительное, так и негативное влияние на человека, технологическое оборудование, а также на состояние строительных конструкций и сохранность предметов интерьера.

Утилизация влаги из воздуха в вентиляционных установках заключается в ее передаче от вытяжного воздуха приточному или наоборот. Этот процесс имеет важное значение для обеспечения оптимального микроклимата в помещениях, повышения эффективности работы вентиляционного оборудования и продления срока его службы. При этом для центральных приточно-вытяжных установок существуют устоявшиеся способы утилизации теплоты и влаги, однако для компактных децентрализованных вентиляционных устройств (рис. 1) вопрос применения таких способов остается открытым [1].

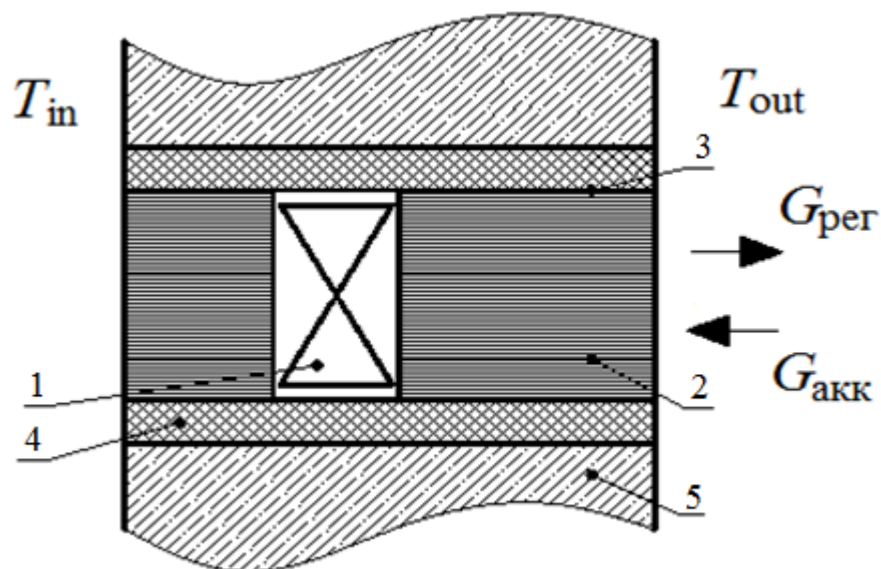


Рисунок 1. Принципиальная схема децентрализованного вентиляционного устройства: 1 – вентилятор, 2 – теплообменник, 3 – корпус, 4 – теплоизоляция, 5 – наружная стена, T_{in} – температура внутреннего воздуха, T_{out} – температура наружного воздуха, $G_{акк}$ и $G_{прет}$ – расходы приточного и вытяжного воздуха, соответственно

Рассматриваемые устройства основаны на принципе действия рекуперативного или регенеративного теплообменного аппарата, что позволяет им утилизировать теплоту воздуха и делает их высоко энергоэффективными [1]. При этом функция утилизации влаги в них, как правило, целенаправленно не предусматривается и процесс влагообмена между потоками приточного и вытяжного воздуха возникает лишь в случае конденсации водяных паров при низких температурах. Наиболее рациональным способом добавления функции утилизации влаги является оснащение устройства дополнительным модулем влагообмена на основе подходящего сорбента.

Актуальность темы обусловлена необходимостью снижения энергопотребления и улучшения качества воздуха в помещениях, что особенно важно в условиях растущих экологических вызовов и стремления к устойчивому развитию.

Целью данной статьи является анализ сорбентов влаги, подходящих для применения в компактных децентрализованных вентиляционных устройствах,

а также определение их количества для создания дополнительного модуля влагообмена для рассматриваемых устройств.

Анализ сорбентов. При анализе сорбентов важно учитывать их характеристики, к которым может относиться [2-5]:

- Ёмкость по поглощению влаги. Некоторые сорбенты могут поглощать до 100% влаги от своего веса.
- Способность к поглощению запахов. У некоторых сорбентов она выше, чем у силикагеля и активированного угля.
- Многократное использование. Сорбенты можно регенерировать, например, сушкой при определенной температуре.
- Применение. Сорбенты используют для поглощения влаги и запахов в холодильниках, обуви, одежде, автомобилях, упаковках с электроникой и другим оборудованием и т. д..
- Классификация. Влагопоглотители разделяют по форме (кусковые, гранулированные), размерам зёрен (мелкие, крупные), величине пор (мелкопористые, крупнопористые).

В таблице 1 приведены основные характеристики сорбентов, наиболее подходящих для применения в вентиляционных установках.

Таблица 1. Характеристики сорбентов

Вид сорбента	Влагоемкость , %	Площадь поверхности , м ² /г	Форма	Температура а регенерации , °С	Время регенерации , ч
силикагель	до 52	750-800	гранулы	150-170	до 4
оксид алюминия	до 20	до 200	крошка	160-250	до 4
цеолиты	до 55	зависит от вида	крошка	200-500	до 3
хлорид кальция	до 32	-	гранулы	150-170	-
бромид лития	более 100	зависит от смачиваемо	жидкост ь	90	-

		й поверхности			
активированный уголь	до 50	до 2200	гранулы	100-150°C	до 12

Согласно таблице 1 и проведенному обзору для общего осушения воздуха в обычных вентиляционных установках, где требуется эффективность, возможность регенерации и приемлемая стоимость, наиболее подходящими сорбентами являются:

1. Силикагель: является наиболее универсальным и экономичным выбором для большинства задач, связанных с поддержанием комфортного уровня влажности. Он легко регенерируется, безопасен и широко доступен.

2. Цеолиты: превосходят силикагель в ситуациях, где требуется более глубокое осушение, работа при низкой влажности или высокая термостойкость. Они также обладают хорошей селективностью к определенным загрязнителям, что может быть важно в некоторых приложениях. Однако их более высокая стоимость делает их выбор оправданным для специализированных систем.

Активированный уголь не является основным осушителем, но его дополнительные функции по удалению запахов и газов делают его ценным компонентом в системах, где требуется комплексная очистка воздуха. Он может оказывать вторичное осушающее действие.

Оксид алюминия это продукт для задач, требующих особой термостойкости или очень глубокого осушения, но менее распространен в стандартных вентиляционных системах из-за более высокой стоимости и часто меньшей влагоемкости по сравнению с цеолитами и силикагелем при обычных условиях.

Хлорид кальция и бромид лития не рекомендуются для использования в качестве сорбентов в стандартных вентиляционных установках из-за проблем с регенерацией, агрессивностью, токсичностью и/или необходимостью использования в совершенно другом типе оборудования.

Таким образом, для большинства вентиляционных установок оптимальным выбором будет силикагель, а для более требовательных задач – цеолиты. Активированный уголь стоит рассматривать в комбинации с осушителями или когда главной целью является очистка от газов и запахов.

Расчет количества сорбента для утилизации влаги в вентиляционной установке. Расчет является многоэтапным процессом, требующим учета множества факторов. Можно выделить основные этапы расчета:

1. Определение параметров воздуха:

- расход воздуха L , м³/ч;

- влагосодержание воздуха на входе и выходе из установки: d_{in} , d_{out} , г/кг;

- плотность воздуха ρ , кг/м³.

2. Расчет расхода удаляемой влаги G , кг/ч.

3. Выбор сорбента и его рабочей влагоемкости W , кг/кг.

4. Определение времени адсорбции τ , ч.

5. Расчет требуемой массы M , кг и объема сорбента V , м³.

Расчет определяет необходимую массу (и затем объем) сорбента, которая должна быть способна удалить требуемое количество влаги за заданный интервал адсорбции, с учетом запаса.

Согласно анализу определим требуемый объем силикагеля для создания модуля влагообмена.

Согласно [6] влагоемкость силикагеля находится в диапазоне от 9 до 30 % в зависимости от относительной влажности воздуха.

Примем, что внутри помещения воздух имеет следующие параметры: температура $t_v = 20$ °С, относительная влажность $\varphi_v = 50$ %. Воздух с такими параметрами будет иметь влагосодержание $d_v = 7,3$ г/кг. Максимальная производительность децентрализованной установки составляет 80 м³/ч, при плотности воздуха 1,2 кг/м³ массовый расход воздуха составит 96 кг/ч. Таким образом, количество влаги, проходящей через регенератор составит $7,3 \cdot 96 \approx 700$ г/ч = 0,7 кг/ч.

Учитывая диапазон влагоемкости силикагеля для полного поглощения 0,7 кг водяных паров будет требоваться от 2,3 до 7 кг сорбента. При насыпной плотности силикагеля 720 кг/м³ требуемый объем составит 0,003-0,01 м³.

Требуемый объем силикагеля можно найти по выражению

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где d – диаметр корпуса установки, равный 0,2 м; l – толщина слоя сорбента, м.

Из выражения (1) требуемая толщина слоя сорбента в виде силикагеля составит 10-30 см.

Необходимо отметить, что на требуемый объем сорбента влияет скорость сорбции и десорбции влаги. Кроме того, учитывая невысокие значения температур, при которых работает регенератор, эффективность десорбции предсказать сложно. Для более конкретных выводов требуется проведение эксперимента по определению эффективности поглощения и выделения влаги при различной толщине слоя сорбента.

В итоге можно сделать вывод, что для компактных децентрализованных вентиляционных устройств (установок) дополнительный модуль влагообмена, как способ утилизации влаги, может быть основан на сорбенте в виде силикагеля. Для характерных параметров расстраиваемых устройств требуемое количество сорбента может составлять 0,003-0,01 м³.

Литература

1. Монаркин, Н. Н. Влияние геометрических, теплофизических и режимных параметров на тепловую эффективность регенеративного теплоутилизатора / Н. Н. Монаркин, С. В. Лукин, А. А. Кочкин // Градостроительство и архитектура. – 2019. – Т. 9, № 4(37). – С. 33-38. – DOI 10.17673/Vestnik.2019.04.6.

2. Ильясова, Л. С-э. Исследование адсорбции воды цеолитами / Л. С-э Ильясова, Х. Д. Алангираева // Вестник магистратуры. – 2022. – №11-5 (134). – С. 12-15.
3. Аверкин, А. Г. Инновационные технологии осушения воздуха в климатехнике на основе твердых сорбентов / А. Г. Аверкин, А. И. Еремкин, Ю. А. Аверкин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 1(16). – С. 19-30.
4. Максимова, Н. А. Способы утилизации теплоты удаляемого воздуха в системах вентиляции и кондиционирования / Н. А. Максимова, В. П. Кичатов, М. В. Костикова // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2010. – № 6(86). – С. 96-100.
5. Литвинова, Н. А. Эффективное применение клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха в многоэтажном строительстве / Н. А. Литвинова // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 3(63). – С. 25.
6. ГОСТ 3956-76. Силикагель технический. Технические условия. – Введ. 01.01.1977. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1977. – 12 с.

Literature

1. Monarkin, N. N. Influence of geometric, thermophysical and operating parameters on thermal efficiency of regenerative heat exchanger / N. N. Monarkin, S.V. Lukin, A. A. Kochkin // Gradostroitel'stvo i arhitektura. – 2019. – Vol. 9, No. 4(37). – P. 33-38. – DOI 10.17673/Vestnik.2019.04.6.
2. Il'jasova, L. S-je. Investigation of water adsorption by zeolites / L. S-je Il'jasova, H. D. Alangiraeva // Vestnik magistratury. – 2022. – No. 11-5 (134). – P. 12-15.
3. Aeverkin, A. G. Innovative air drying technologies in climate technology based on solid sorbents / A. G. Aeverkin, A. I. Eremkin, Ju. A. Aeverkin // Zhilishhnoe hozhajstvo i kommunal'naja infrastruktura. – 2021. – No. 1(16). – P. 19-30.
4. Maksimova, N. A. Heat recovery methods at deaeration in ventilation and air conditioning systems / N. A. Maksimova, V. P. Kichatov, M. V. Kostikova //

Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury. – 2010. – No. 6(86). – P. 96-100.

5. Litvinova, N. A. Effective application of forced air supply ventilation valve with air purification in multi-storey construction / N. A. Litvinova // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2020. – No. 3(63). – P. 25.

6. GOST 3956-76. Technical silica gel. Technical specifications. – Vved. 01.01.1977. – M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 1977. – 12 p.