

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/vol8-6.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/97TVN616.pdf>

Статья опубликована 26.01.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Галковский В.А., Ручкина С.А. Анализ применения аккумуляторов теплоты фазового перехода в системе вентиляции зданий // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016)  
<http://naukovedenie.ru/PDF/97TVN616.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 621.1:697.7(045)**

**Галковский Вадим Анатольевич**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»  
Филиал в г. Смоленске, Россия, Смоленск<sup>1</sup>  
Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»  
Кандидат технических наук  
E-mail: [vadim-galkovskiy@mail.ru](mailto:vadim-galkovskiy@mail.ru)

**Ручкина Светлана Алексеевна**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»  
Филиал в г. Смоленске, Россия, Смоленск  
Студент магистратуры кафедры «Промышленная теплоэнергетика»  
E-mail: [ruchkina.sveta2013@yandex.ru](mailto:ruchkina.sveta2013@yandex.ru)

## **Анализ применения аккумуляторов теплоты фазового перехода в системе вентиляции зданий**

**Аннотация.** Энергосбережение в настоящее время имеет большое значение в связи с сокращающимся количеством топливно-энергетических ресурсов, а также с нарастающим энергетическим загрязнением окружающей среды. Одним из источников энергетического загрязнения являются выбросы значительного количества тепловой энергии, являющейся вторичным продуктом различных производств. Помимо промышленных производств, из административных, жилых и других разноплановых зданий и сооружений также удаляются тепловые избытки посредством системы вентиляции.

В работе проведен анализ тепловыделений и теплопотерь различных типов зданий, находящихся в умеренной климатической зоне, определены тепловые избытки, удаляемые системой вентиляции. Получены зависимости удельного показателя избыточной теплоты от расчетной температуры наружного воздуха, позволяющие определить для рассмотренных зданий количество избыточной теплоты при любой наружной температуре.

Одним из возможных путей применения избыточной теплоты является её аккумулирование с целью дальнейшего использования (например, для нагрева приточного воздуха, предварительного нагрева воды в системе горячего водоснабжения, использования в системах отопления в переходный период года и т.д.). В работе произведен анализ изменения площади и объема многослойного теплового аккумулятора фазового перехода.

---

<sup>1</sup> 214013, г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

**Ключевые слова:** избыточная тепловая энергия; система вентиляции; тепловой аккумулятор фазового перехода; парафин; количество слоев теплоаккумулирующего материала; площадь теплового аккумулятора; объем теплового аккумулятора

Проблема сбережения топливно-энергетических ресурсов в современном мире имеет большое значение, в первую очередь, в связи с ограниченным количеством природных ресурсов (в частности природного газа, каменного угля, мазута, которые используются при работе котельных, теплоэлектростанций, теплоэлектроцентралей), а также в связи с набирающим обороты техногенным загрязнением окружающей среды (атмосферы, почв, гидросферы), связанным с бытовой и производственной деятельностью человека (выбросы углекислого газа от автомобилей, различные стоки, захоронения радиоактивных отходов и т.д.).

Среди антропогенных выбросов в атмосферу можно выделить следующие:

- выбросы, образующиеся при работе автомобильного, железнодорожного, воздушного, морского и речного транспорта;
- выбросы, образующиеся как выбросы при технологических процессах, отоплении, вентиляции;
- выбросы, обусловленные сжиганием топлива в жилище и переработкой бытовых отходов [1].

Выбросы в атмосферу огромных объемов неиспользованной теплоты производственного и бытового происхождения представляют собой серьезную проблему, так как при использовании неэффективного или изношенного оборудования на производствах приводит к тому, что для обеспечения продукта производства с заявленными параметрами, необходимо увеличивать расход топлива, что снижает эффективность внедрения энергосберегающих технологий на промышленных предприятиях [2].

Тепловая энергия с низким потенциалом выбрасывается как невостребованный продукт производства, несмотря на то, что она может быть использована в устройствах, работающих при низких температурах греющего теплоносителя. Характерным примером является тепловая энергия, удаляемая с отработавшим воздухом из системы вентиляции зданий и сооружений [3].

Актуальность данной работы связана с тем, что при работе системы вентиляции удаляется избыточная теплота, поступающая в помещения с тепловыделениями от людей, работающих бытовых приборов, оргтехники и иных устройств, от солнечной радиации, искусственного освещения и т.д. [4].

В работе рассмотрено несколько разноплановых объектов теплоэнергетики жилищно-коммунального сектора, находящихся в умеренном климатическом поясе с расчетной температурой наружного воздуха в холодный период:  $-25^{\circ}\text{C}$  [5].

Характеристики рассмотренных потребителей теплоты представлены в таблице 1.

**Таблица 1**  
**Характеристики потребителей тепловой энергии (составлено автором)**

Тип здания	Внутренний объем здания, $V_{зд}, м^3$	Количество людей, находящихся в помещениях здания	Отопительная нагрузка, $Q_{от}, МВт$
Административное здание	2095,632	90	0,044
Жилое здание	27936	96	0,428
Спортивный комплекс	20795,5	120	0,390
Кинотеатр	5244,239	300	0,057
Торговый комплекс	21532,5	1000	0,223
Больница	2950	79	0,05
Школа	80316,8	489	1,784
Гостиница	17301,24	150	0,274

Для каждого объекта рассчитаны тепловые избытки (являющиеся разницей между внутренними тепловыми поступлениями и тепловыми потерями) и определен удельный показатель избыточной теплоты  $q_{изб}^{уд}$  (количество избыточной теплоты, отнесенное к внутреннему объему здания) для температур наружного воздуха  $-25^{\circ}C$ ,  $-10^{\circ}C$ ,  $0^{\circ}C$ ,  $+10^{\circ}C$ ,  $+15^{\circ}C$ ,  $+22^{\circ}C$  [5].

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

**Таблица 2**  
**Значения удельного показателя избыточной теплоты (составлено автором)**

Температура $t_{но}, ^{\circ}C$	Удельный показатель избыточной теплоты $q_{изб}^{уд}, Вт/м^3$							
	Административное здание	Жилое здание	Спортивный комплекс	Кинотеатр	Торговый комплекс	Больница	Школа	Гостиница
-25	95,0	174,0	78,2	77,0	232,3	25,5	147,5	119,5
-10	96,7	179,3	81,2	79,7	236,8	26,0	157,8	124,0
0	106,3	209,7	98,5	96,8	262,3	29,3	217,3	150,0
10	78,7	150,8	10,4	58,8	156,9	9,5	73,8	17,9
15	88,3	182,0	25,8	49,2	183,0	10,6	127,9	44,6
22	88,8	182,5	26,1	49,7	184,6	11,5	128,5	44,9

По результатам расчетов построены зависимости  $q_{изб}^{уд} = f(t_{но})$ , позволяющие для каждого типа рассмотренных зданий определить удельное количество теплоты, удаляемое системой вентиляции из здания при заданной температуре. Полученные зависимости приведены на рис. 1.

Характер зависимостей определяется тем, что в теплый период года наибольшие тепловые поступления в помещения происходят за счет солнечной радиации, активность которой снижается при приближении к  $+10^{\circ}C$ . В холодный период наибольшие тепловые поступления происходят за счет системы отопления. Минимум и максимум кривых объясняются различным соотношением тепловых поступлений от источников и тепловых потерь через ограждающие конструкции. В переходный период года (при температуре

наружного воздуха от 0°C до +10°C) тепlopоступления не компенсируют тепловые потери, поэтому кривые имеют минимум в данный период. С началом отопительного периода при умеренных температурах наружного воздуха тепловые потери меньше, чем при максимально-зимней температуре, поэтому здесь кривые имеют максимум [6].

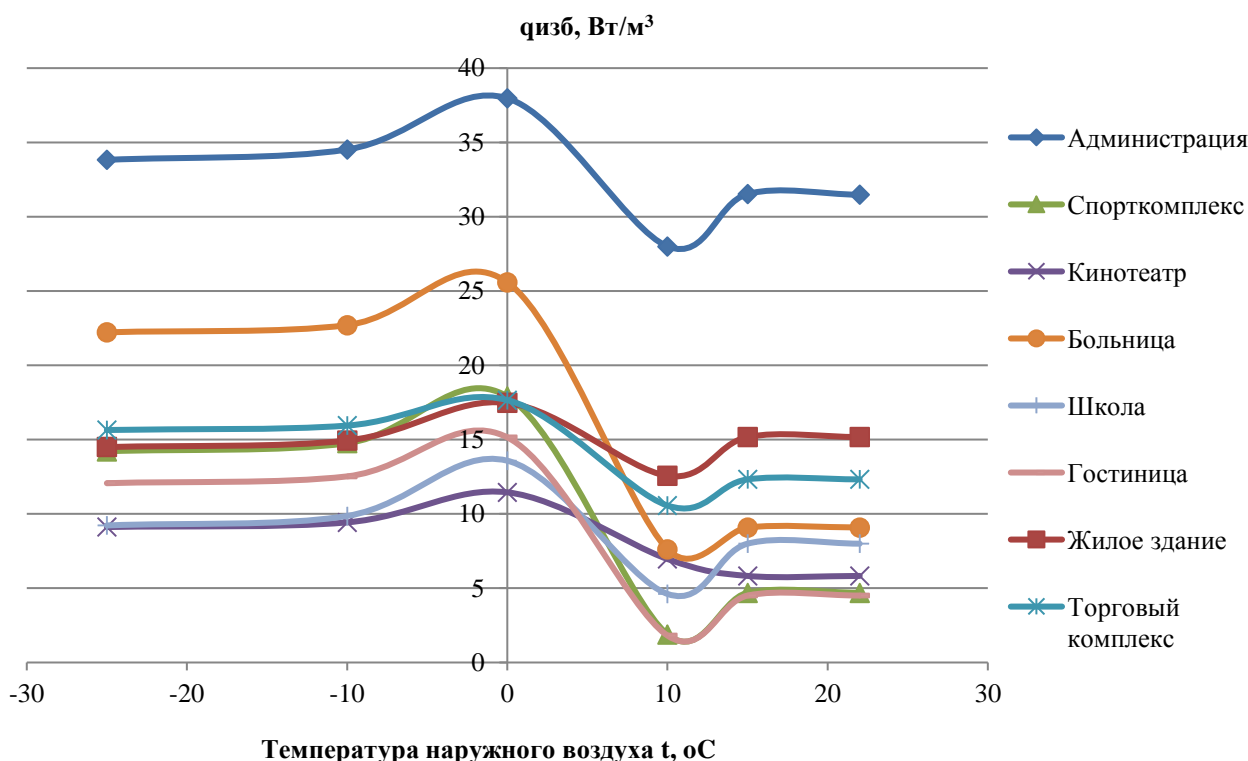


Рисунок 1. Зависимость  $q_{изб}^{уд} = f(t_{но})$  для различных типов зданий (составлено автором)

Одним из возможных решений использования избыточной теплоты систем вентиляции зданий является ее аккумулирование с целью дальнейшего использования (нагрев приточного воздуха, предварительного нагрева воды в системе горячего водоснабжения, использования в системах отопления в переходный период года и т.д.).

Существуют следующие виды аккумуляторов: тепловые аккумуляторы (АТ) с твердым теплоаккумулирующим материалом (ТАМ), с плавящимся ТАМ, жидкостные аккумуляторы тепла, паровые аккумуляторы тепла, термохимические аккумуляторы, тепловые аккумуляторы с электронагревательным элементом. Для утилизации тепловой энергии удаляемого вентиляционного воздуха наиболее предпочтительным является применение аккумуляторов с плавящимся ТАМ [7]. Применение данных аккумуляторов теплоты ограничивается их конструкцией, т.е. свойствами ТАМ, объемом и стоимостью, которая в свою очередь зависит от конструкции АТ [8].

В работе произведен анализ изменения площади (при фиксированной длине, равной 4 м) однослойного теплового аккумулятора, используемого в административном здании, в зависимости от геометрических размеров шаров теплоаккумулирующего материала (диаметра шара  $d_{ш}$ , м), а также от расстояния между шарами в ячейках (шаг  $\Delta$ , м). В качестве теплоаккумулирующего материала выбран парафин пентадекан ( $C_{15}H_{32}$ ) с температурой плавления +10°C и теплотой плавления 150 Дж/кг [9, 10].

Результаты расчета площади однослойного аккумулятора приведены в таблице 3.

Таблица 3

Площадь однослойного аккумулятора, м<sup>2</sup> (составлено автором)

$d_{ш}, м$ \ $\Delta, м$	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035
0,005	166,66	41,77	20,58	13,02	9,36	7,22	5,83
0,010	417,69	83,33	36,01	20,88	14,03	10,29	8,10
0,015	777,74	138,88	55,69	30,46	19,55	14,03	10,53
0,020	1249,94	208,85	79,41	41,66	26,26	18,00	13,50
0,025	1837,85	292,38	106,99	55,24	33,33	22,86	16,69
0,030	2534,00	388,87	140,28	69,44	41,97	28,05	20,18
0,035	3333,18	505,03	174,89	86,80	51,17	33,72	23,87
0,040	4292,74	624,97	217,18	105,21	61,20	39,70	28,11
0,045	5277,54	771,57	261,86	125,22	71,73	46,58	32,39
0,050	6481,19	925,88	310,31	146,19	83,85	53,49	37,21

По полученным результатам построены зависимости площади аккумулятора теплоты от диаметра шаров парафина в ячейках и от расстояния между шарами (шага), изображенные на рис. 2-3. Для каждой диаметра определены зависимости  $S_{AT} = f(\Delta)$ , представляющие собой квадратичные функции, которые позволяют для любого расстояния между шарами в ячейках в диапазоне от 0,005 м до 0,035 м и для диаметров шаров парафина в диапазоне от 0,005 м до 0,05 м определить площадь однослойного теплового аккумулятора.

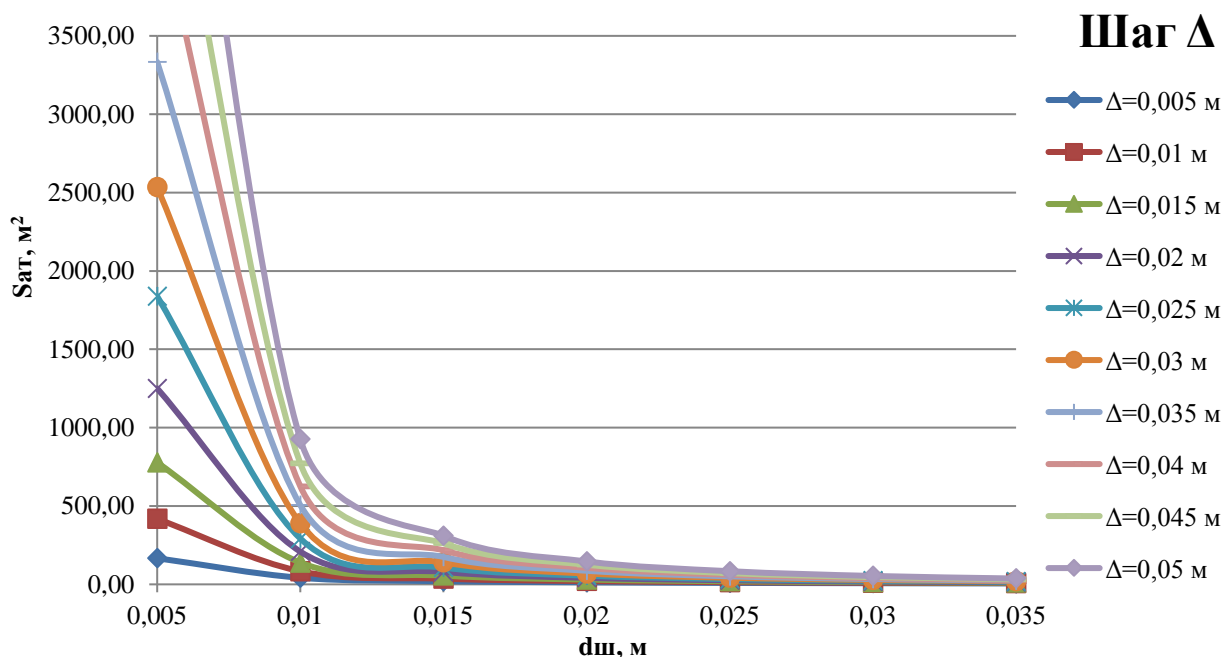
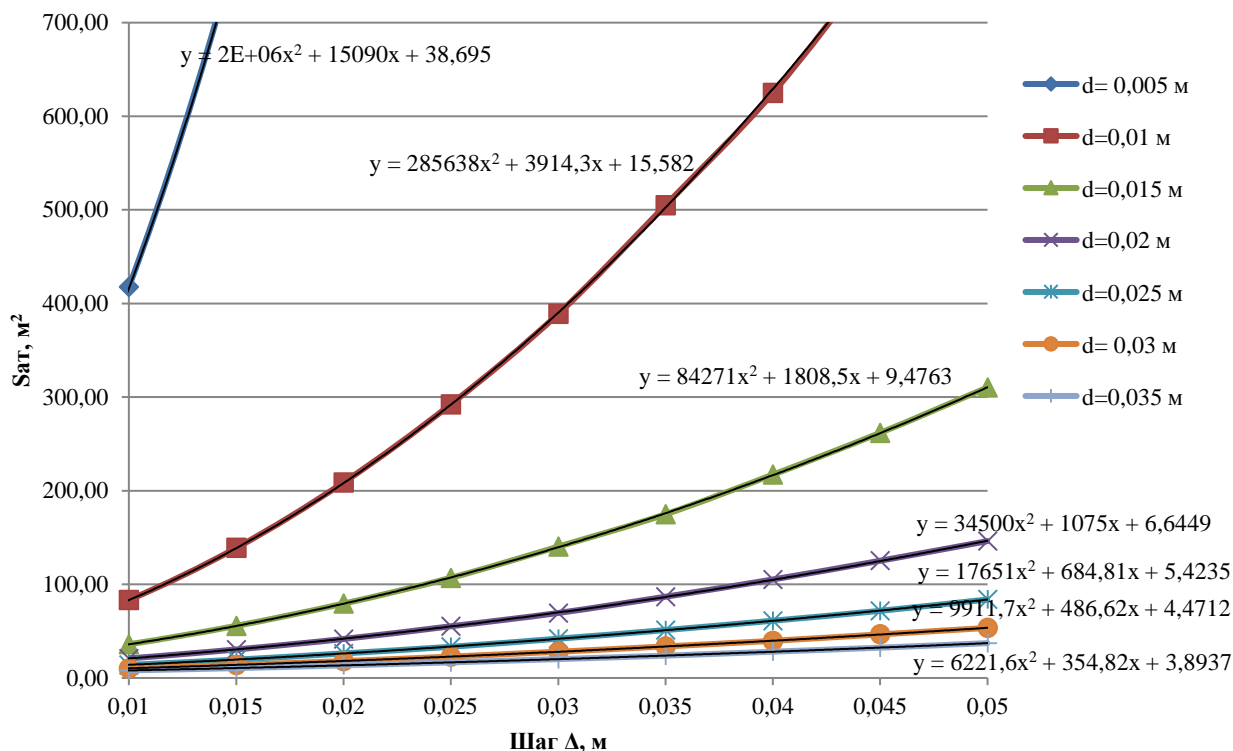


Рисунок 2. Зависимость  $S_{AT} = f(d_{ш})$  (составлено автором)



**Рисунок 3.** Зависимость  $S_{AT} = f(\Delta)$  (составлено автором)

Однако из приведенных зависимостей видно, что применение однослойного аккумулятора с шарами диаметром более 0,015 м не является практичным решением, так как приводит к резкому увеличению площади, а, соответственно, и объема аккумулятора.

Так как применение однослойного теплового аккумулятора не является рациональным даже при небольших диаметрах шаров в связи с большой занимаемой площадью, в работе произведен анализ изменения площади ( $S_{AT}$ , м<sup>2</sup>) и объема ( $V_{AT}$ , м<sup>3</sup>) аккумулятора при различном количестве слоев ( $n$ ). Результаты расчета представлены на рис. 4-5.

На примере одного диаметра, равного 0,015 м, рассмотрено изменение площади и объема теплового аккумулятора при изменении количества слоев от 1 до 7. Результаты расчета представлены в таблице 4.

**Таблица 4**

**Изменение площади  $S_{AT}$ , м<sup>2</sup>, и объема  $V_{AT}$ , м<sup>3</sup>, многослойного теплового аккумулятора фазового перехода (составлено автором)**

Количество слоев, $n$		1	2	3	4	5	6	7	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шаг $\Delta$ , м	0,005	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>	20,58	12,35	9,60	8,23	7,41	6,86	6,47
		Объем, $V$ , м <sup>3</sup>	0,51	0,56	0,62	0,70	0,78	0,86	0,94
	0,01	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>	36,01	23,15	18,86	16,72	15,43	14,57	13,96
		Объем, $V$ , м <sup>3</sup>	0,72	1,39	1,60	1,84	2,08	2,33	2,58
	0,015	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>	55,69	37,13	30,94	27,84	25,99	24,75	23,87
		Объем, $V$ , м <sup>3</sup>	2,51	2,78	3,25	3,76	4,29	4,83	5,37
	0,02	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>	79,41	54,14	45,72	41,51	38,98	37,30	36,09
		Объем, $V$ , м <sup>3</sup>	4,37	4,87	5,72	6,64	7,60	8,58	9,56
	0,025	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>	106,99	74,07	63,09	57,61	54,32	52,12	50,55
		Объем, $V$ , м <sup>3</sup>	6,95	7,78	9,15	10,66	12,22	13,81	15,42

Количество слоев, $n$			1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шаг $\Delta$ , м	0,03	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>	140,28	98,20	84,17	77,15	72,95	70,14	68,13
		Объем, $V$ , м <sup>3</sup>	10,52	11,78	13,89	16,20	18,60	21,04	23,51
	0,035	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>	174,89	123,45	106,30	97,73	92,59	89,15	86,70
		Объем, $V$ , м <sup>3</sup>	14,87	16,67	19,67	22,97	26,39	29,87	33,38
	0,04	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>	217,18	154,31	133,35	122,87	116,59	112,40	109,40
		Объем, $V$ , м <sup>3</sup>	20,63	23,15	27,34	31,95	36,73	41,59	46,49
	0,045	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>	261,86	187,05	162,10	149,63	142,15	137,16	133,59
		Объем, $V$ , м <sup>3</sup>	27,50	30,86	36,47	42,64	49,04	55,55	62,12
	0,05	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>	310,31	222,61	193,37	178,76	170,00	164,14	159,96
		Объем, $V$ , м <sup>3</sup>	35,69	40,07	47,38	55,41	63,75	72,22	80,78

По результатам расчета построены зависимости изменения площади  $S_{AT} = f(n)$  и объема  $V_{AT} = f(n)$  теплового аккумулятора от количества слоев.

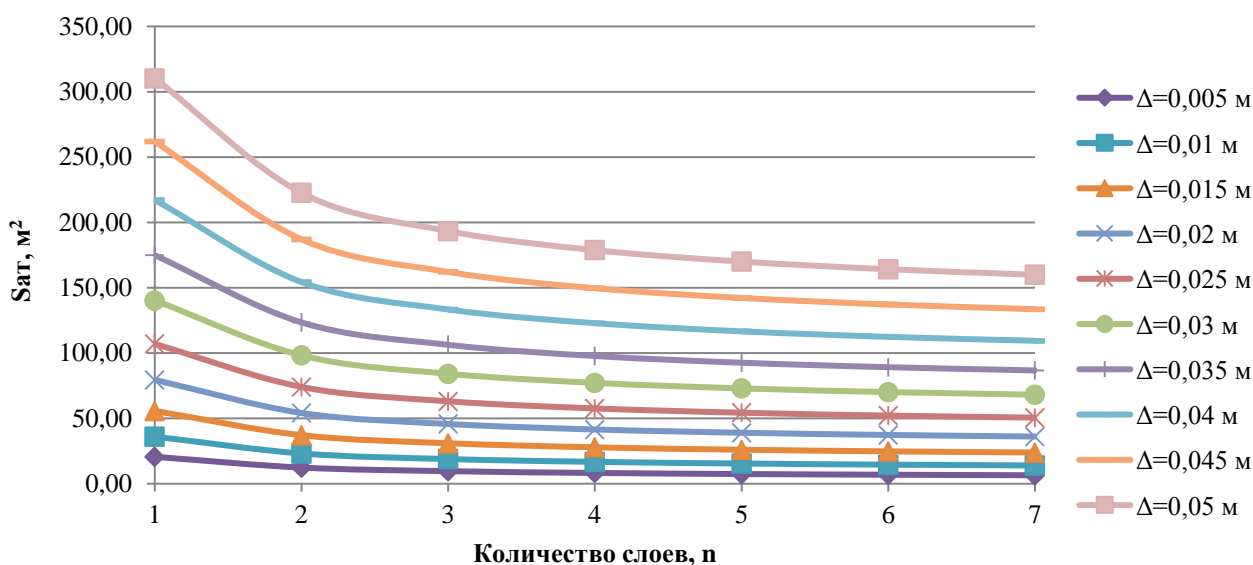


Рисунок 4. Зависимость  $S_{AT} = f(n)$  (составлено автором)

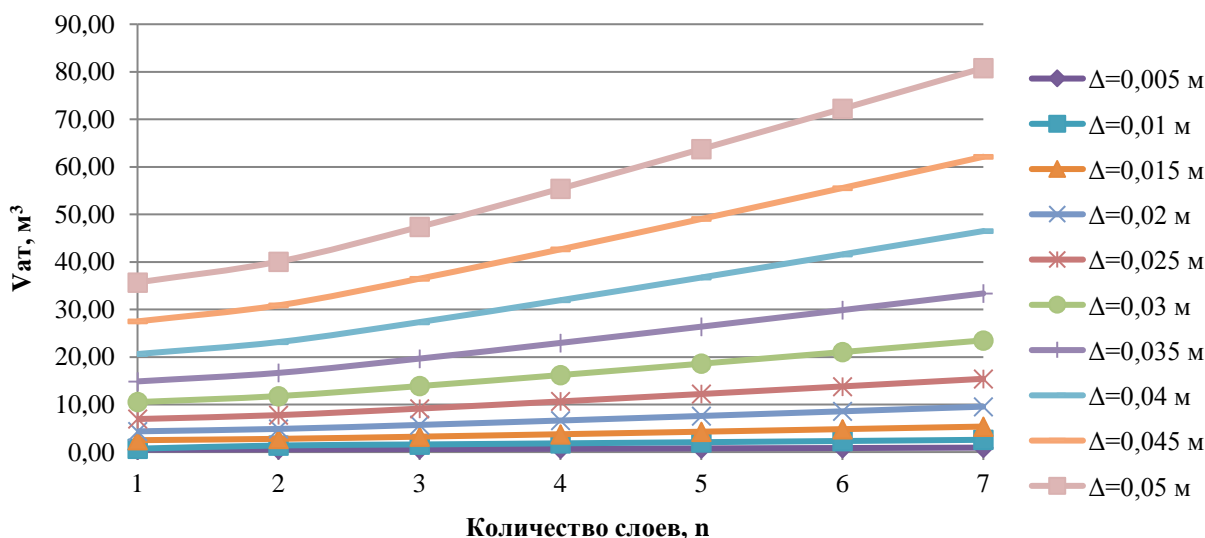


Рисунок 5. Зависимость  $V_{AT} = f(n)$  (составлено автором)

Зависимости, изображенные на рис. 4, наглядно демонстрируют незначительное изменение площади теплового аккумулятора при количестве слоев 4 и более, что объясняется незначительным изменением ширины АТ. Однако это же изменение площади оказывается значительным в сравнении с площадью однослойного АТ. Несмотря на стремление площади АТ к постоянной величине, при увеличении количества слоев объем АТ увеличивается по зависимости, близкой к линейной. Увеличение объема связано с тем, что при добавлении каждого слоя, помимо размеров шара парафина, на высоту аккумулятора влияет также и расстояние между шарами в ячейках.

Таким образом, в данном случае (для тепловой нагрузки теплового аккумулятора 57,128 МДж/ч, выбранного типа парафина, диаметра шаров 0,015 м) оптимальным является 4 слоя ячеек с шарами парафина, так как площадь при увеличении количества слоев практически не изменяется, а объем возрастает. Для остальных рассмотренных диаметров шаров парафина зависимости площади и объема теплового аккумулятора от количества слоев имеют аналогичный характер. Для более точного определения оптимальных геометрических размеров аккумулятора необходимо проведение гидравлических расчетов с определением полных сопротивлений, которые зависят от расстояния между ячейками.

Геометрические размеры тепловых аккумуляторов для других рассмотренных типов зданий будут зависеть от количества удаляемой теплоты, сохраняя при этом аналогичный характер.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Буторина М.В., Дроздова Л.Ф., Иванов Н.И., Курцев Г.М., Пименов А.Н., Попова Н.П., Рудаков М.Л., Сидоров В.Н., Тюрина Н.В., Фадин И.М. Инженерная экология и экологический менеджмент: учебник / Буторина М.В., Дроздова Л.Ф., Иванов Н.И. и др.; под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадиной. - Изд. 3-е. - М.: Логос, 2011. - 520 с.: ил.
2. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов. - 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1988. - 528 с.
3. Антимонов С.В., Соловых С.Ю., Василевская С.П. Виды систем вентиляции и методика расчета воздухообмена в помещениях: Методические указания по курсу вентиляционные установки - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. - 21 с.
4. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов - СПб.: АВОК Северо-запад, 2005. - 400 с.
5. Заварина М.В. Строительная климатология [Текст] / М.В. Заварина. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. - 312 с.
6. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для ВУЗов. 9-е изд., стереот. - М.: Издательский дом МЭИ, 2009. - 472 с.
7. Сотникова О.А., Турбин В.С., Григорьев В.А. Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения // АВОК, №5 / 2003, с. 40-45.
8. Умеренков Е.В. Разработка аккумуляторов теплоты на фазовом переходе для систем теплоснабжения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Курск, 2012. - 33 с.
9. Азингер Ф. Химия и технология парафиновых углеводородов. - М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1959. - 624 с.
10. Докторов О.А. Методика проектирования аккумуляторов теплоты на фазовых переходах для автономного охлаждения приборов стартового оборудования // электронный журнал «Молодежный научно-технический вестник», выпуск №11 (2013) <http://sntbul.bmstu.ru/doc/637119.html> (доступ свободный).



**Galkovskiy Vadim Anatol'evich**

National research university «Moscow power engineering institute»  
Smolensk branch, Russia, Smolensk  
E-mail: vadim-galkovskiy@mail.ru

**Ruchkina Svetlana Alekseevna**

National research university «Moscow power engineering institute»  
Smolensk branch, Russia, Smolensk  
E-mail: ruchkina.sveta2013@yandex.ru

## **Analysis of phase transition heat accumulators use in the ventilation buildings system**

**Abstract.** At present energy saving is of great importance in connection with a reducing number of fuel and energy resources and increasing energy and environmental pollution. One of the sources of energy pollution is the emission of significant amounts of thermal energy, which is a secondary product in various industries. Besides industrial production, the excess heat is removed from administrative, residential and other buildings and structures through the ventilation system.

Being in the temperate climate zone heat generation analysis and different types buildings heat loss has been carried out in this paper; the excess heat removed by the ventilation system has been determined. The dependences of excess heat specific rate from the calculated ambient air temperature have been received, allowing to determine the excess heat amount for the given buildings at any outside temperature.

One of the possible ways to use excess heat is its storage for further use (e.g. for air heating supply, pre-heating water in hot water system, for using in heating systems in transitional year period etc.). Area and volume changes analysis of phase transition multilayer thermal battery has been done in this work.

**Keywords:** excess heat energy; ventilation system; phase transition heat accumulator; the paraffin; heat storage material layers number; heat accumulator area; heat accumulator volume

## REFERENCES

1. Butorina M.V., Drozdova L.F., Ivanov N.I., Kurcev G.M., Pimenov A.N., Popova N.P., Rudakov M.L., Sidorov V.N., Turina N.V., Fadin I.M. Engineering ecology and environmental management: textbook / Butorina M.V., Drozdova L.F., Ivanov N.I. and etc.; ed. N.I. Ivanova, I.M. Fadina. - ed. 3rd. - M.: Logos, 2011. - 520 p.: il.
2. Sidelkovskiy L.N., Yurenev V.N. Boilers industrial enterprises: textbook for high schools. - 3rd ed. M.: Energoatomisdat, 1988. - 528 p.
3. Antimonov S.V., Solovykh S.Y., Vasilevskaya S.P. Types of ventilation systems and calculation method of ventilation in rooms: Guidelines for the installation of the ventilation rate - Orenburg: SEI OSU, 2003. - 21 p.
4. Stefanov E.V. Ventilation and air conditioning / E.V. Stefanov - SPb.: AVOK, Northwest, 2005. - 400 p.
5. Zavarina M.V. Building Climatology [Text] / M.V. Zavarina. - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. - 312 p.
6. Sokolov E.Y. District heating and heat networks: a textbook for high schools. 9 th ed., Stereotypes. - M.: MEI Publishing House, 2009. - 472 p.
7. Sotnikova O.A., Turbin V.S., Grigoriev V.A. Heat accumulators heat generating plants of heat supply systems // AVOK, №5, 2003, p. 40-45.
8. Umerenkov E.V. Development of heat accumulators on phase transition for heating systems. Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences. - Kursk, 2012. - 33 p.
9. Azinger F. Chemistry and Technology of paraffinic hydrocarbons. - M.: State scientific and technical publishing house of the oil and mining and fuel Literature, 1959. - 624 p.
10. Doktorova O.A. Methods of designing heat accumulators on phase transitions to a stand-alone cooling units starting equipment // e-magazine "Youth Science and Technology Bulletin", Issue number 11 (2013) <http://sntbul.bmstu.ru/doc/637119.html> (free access).