

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105290>

# Разработка технологии создания систем кондиционирования воздуха в условиях аридного климата (Эритрея)

Л.В. Галимова, А.Е. Семенов, Д.Г. Лувам

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

## АННОТАЦИЯ

Поставлена задача определения исходных данных и разработки технологии создания систем кондиционирования воздуха в сложных климатических условиях Восточной Африки. Предложены методика и результаты обработки материалов наблюдений, на основании которых определены температурные и влажностные параметры наружного и внутреннего воздуха для помещения Морского колледжа, расположенного в наиболее сложном по климатическим условиям районе Эритреи. Обоснован выбор, проведён расчёт и подбор оборудования специальной комбинированной экологически чистой системы кондиционирования воздуха.

**Ключевые слова:** аридный климат, материалы наблюдений, методика обработки наблюдений, комбинированная система кондиционирования

## Как цитировать:

Галимова Л.В., Семенов А.Е., Лувам Д.Г. Разработка технологии создания систем кондиционирования воздуха в условиях аридного климата (Эритрея) // *Холодильная техника*. 2022. Т. 111. № 1. С. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105290>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105290>

# Development of the technology for creating air conditioning systems in an arid climate (Eritrea)

Larisa V. Galimova, Aleksandr E. Semenov, Debas G. Luvam

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

## ABSTRACT

This study aimed to determine the initial data and develop a technology for creating air conditioning systems under the complicated climatic conditions of East Africa. A technique for processing the observational materials is proposed and the corresponding results are stated, which are subsequently used to determine the temperature and humidity of the outdoor and indoor air on the premises of the College of Marine Science and Technology located in the most complicated climatic region of Eritrea. The choice was substantiated, and the calculation and selection of equipment for a special combined environmentally-friendly air conditioning system were performed.

**Keywords:** arid climate; observational materials; finding processing technique; combined air conditioning systems

## To cite this article:

Galimova LV, Semenov AE, Luvam DG. Development of technology for creating arid climate air conditioning systems (Eritrea). *Refrigeration Technology*. 2022;111(1):37–44. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF105290>

Received: 24.03.2022

Accepted: 20.05.2022

Published: 24.08.2022

В условиях ускоренного развития цивилизации и роста жизненного уровня населения в развивающихся странах всё более острой становится проблема комфортного кондиционирования воздуха, в первую очередь это касается жарких стран Африканского региона. При этом важнейшим требованием к техническим системам является их энергоэффективность. Эритрея одна из развивающихся стран восточноафриканских стран со сложными климатическими условиями. Территория страны имеет жаркий и влажный климат на севере и юге региона вдоль Красного моря; жаркий и сухой климат в западной и восточной низменностях; с осадками и относительно умеренный климат в центральном нагорье. По классификации такой климат называется аридным [1]. На рис. 1 приведена климатическая карта с выделением районов аридного климата.

На территории Эритреи выбраны шесть районов с различными климатическими условиями с учётом их географического расположения, представленные на рис. 2 [2].

Ранее из-за недостаточного количества метеорологических наблюдений для жарких развивающихся стран, расчетные данные по состоянию наружного воздуха не формулировались. Вместо этого в качестве исходных данных для проектирования систем кондиционирования воздуха и холодильных систем принимались данные из соседних стран с аналогичными климатическими характеристиками или выбиралась абсолютная максимальная температура наружного воздуха.

В настоящее время почти каждая страна имеет подготовленный открытый набор данных дизайн-параметров для летних и зимних погодных условий. Эритрея не имеет этих данных, что не позволяет проанализировать и сформулировать параметры для каждого города или региона страны, обеспечив исходные данные для создания энергоэффективных климатических систем, что делает актуальным наше исследование.

В качестве объекта исследования выбрана технология создания систем кондиционирования воздуха в сложных условиях аридного климата. Объектом применения технологии выбран город Массав, для которого зафиксированы самые сложные характеристики наружного воздуха, и конкретное здание – Морской колледж, который расположен в городе Массав на побережье Красного моря. На рис. 3 представлен общий вид здания Морского колледжа. На первом этаже расположены аудитории, на втором – лаборатории со специальным оборудованием, третий этаж – административные помещения с актовым залом.

Основная трудность для создания систем кондиционирования воздуха (СКВ) в сложных условиях аридного климата – определение расчётных данных наружного воздуха. Климатические данные, необходимые для определения температуры и относительной влажности наружного воздуха, извлекались путем

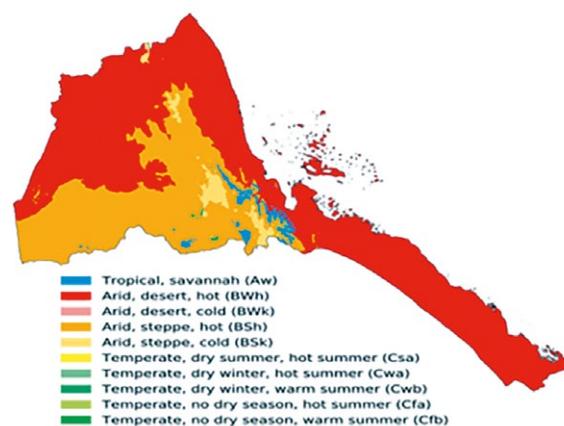


Рис. 1. Климатическая карта страны Эритрея.  
Fig. 1. The climate map of Eritrea.

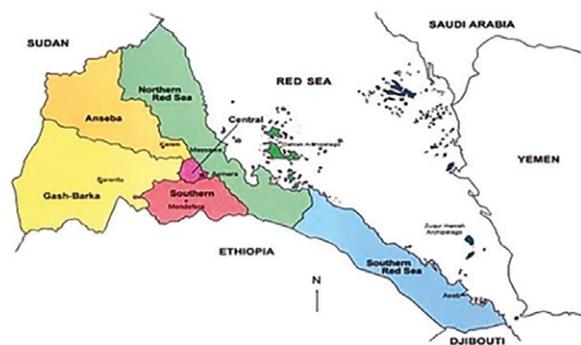


Рис. 2. Административная карта Эритреи.  
Fig. 2. The administrative map of Eritrea.

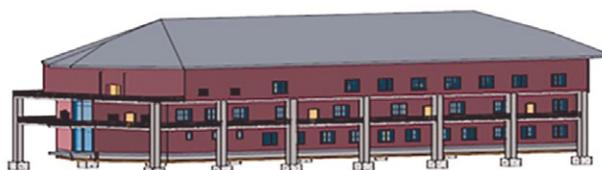


Рис. 3. Общий вид здания Морского колледжа г. Массав.  
Fig. 3. A general view of the College of Marine Science and Technology building in Massawa.

фильтрации из общего объема метео данных за 10 мес предполагаемой работы СКВ: ежедневно в течение 12 ч с 8:00 до 20:00 каждые 30 мин за 2020 год. Анализ климатических параметров проводился в соответствии с методикой [3]. Учебный год в колледже состоит из 12 рабочих месяцев, из которых январь и февраль обладают относительно умеренными климатическими условиями, когда не требуется кондиционирование воздуха. Климатические данные, полученные с метеостанции, обрабатывались в виде графиков по дням и месяцам года. Как показали результаты обработки, температура и относительная влажность наружного воздуха зависят не только от времени суток, но и от направления ветра, дующего с жаркой пустыни

или с прохладного моря, что также в соответствии с методикой учитывалось при анализе частотного распределения.

Статистическая обработка климатических данных (табл. 1–3; пояснения см. в тексте далее) показала, что самая высокая частота наружной температуры находится в диапазоне 32,6–33,6 °С (11,32%), тогда как самая высокая частота относительной влажности – в диапазоне 69–71% (11,57%).

На основе проведённого анализа частотного распределения климатических параметров, изучения частоты встречаемости каждого конкретного климатического параметра определены минимальные, средние, максимальные и расчётные значения, необходимые для проектирования системы кондиционирования воздуха с учётом необходимости снижения энергетических затрат. При проведении исследования принимался во внимание оптимальный период записи с целью учёта изменения

**Таблица 1.** Расчётные параметры наружного воздуха для городов Эритреи

**Table 1.** Calculated outdoor air parameters for cities in Eritrea

Город	Обеспеченность, %											
	99,6%		99%		97,5%		95%		92,7%		90%	
	t	ссТМТ	t	ссТМТ	t	ссТМТ	t	ссТМТ	t	ссТМТ	t	ссТМТ
Массава	41,8	27,3	40,9	27,9	40,1	26,8	39	26,9	38,3	27,1	37,6	26,6
Асмара	31	14,2	30,2	13,2	28,9	13	27,7	13,3	26,9	12,8	26,1	12,7
Ассаб	39	29,6	38,3	28,2	37,3	27,8	36,4	27,8	35,8	27,6	35,1	26,9
Керен	34,6	17,3	35,6	18	34,7	18,3	33,6	17,4	32,7	17,4	31,9	17,2
Акордат	41,2	21,2	40,4	21,7	39,3	22,1	38,1	21,5	37,3	21,2	36,6	21,7
Мендефера	30,8	14,9	30,1	14,6	29,1	14,4	28	13,8	27,2	13,5	26,5	14,5

**Таблица 2.** Расчётные значения энтальпии, температуры и относительной влажности

**Table 2.** Calculated values of enthalpy, temperature and relative humidity

Город	Обеспеченность, %																	
	99,6%			99%			97,5%			95%			92,7%			90%		
	энт	сст	свл	энт	сст	свл	энт	сст	свл	энт	сст	свл	энт	сст	свл	энт	сст	свл
Массава	102,5	42,8	42,0	98,7	36,5	66,6	94,7	36,7	59,4	91,6	34,9	63,9	90,0	36,3	55,9	88,5	35,6	56,9
Асмара	59,7	25,8	48,7	58,3	23,6	34,2	56,2	21,7	64,5	50,5	21,8	56,2	47,7	24,2	40,0	45,9	23,8	38,8
Ассаб	102,8	36,5	66,0	100,1	35,9	71,2	96,0	34,1	70,0	92,2	33,1	72,5	90,0	32,8	71,3	88,2	34,6	60,1
Керен	81,6	28,0	74,0	77,6	30,9	38,4	73,2	27,6	66,0	65,4	27,7	55,3	62,0	28,7	50,2	59,8	30,9	35,4
Акордат	96,9	31,7	78,7	88,6	33,9	44,6	83,6	33,0	59,4	77,8	34,2	48,6	75,6	34,4	45,8	73,6	35,5	39,0
Мендефера	63,0	26,3	53,5	61,0	23,3	36,2	57,9	22,5	65,5	51,7	24,0	48,8	48,9	23,4	47,0	47,1	23,5	44,4

**Таблица 3.** Абсолютные максимальные параметры наружного воздуха

**Table 3.** Absolute maximum outdoor air parameters

№	Город	Высота, м	Давление, гПа	Максимальная температура, °С	Максимальная энтальпия, кДж/кг
1	Массава	10	1011	43.1	118.8
2	Асмара	2325	777	32.3	62.2
3	Ассаб	14	1012	40.7	111.7
4	Керен	1389	868	38.1	87.8
5	Акордат	615	948	43.7	103.3
6	Мендефера	1975	810	32.4	66.8

климатических параметров. Установлено, что минимальный (рекордный) период постоянства температуры летом меньше, чем зимой. Кроме того, минимальный рекордный период проектной температуры в северных городах больше по сравнению с южными городами [4, 5].

По результатам анализа получено, что средняя температура наружного воздуха за весь период составляет 34,24 °С, а средняя относительная влажность – 79,14%. Для выбора расчётных температуры и относительной влажности при проектировании системы кондиционирования воздуха в г. Массава использован частотный анализ. Принято, что более высокие значения температуры по сравнению с расчётной должны наблюдаться в среднем не более 220 часов в год. После сортировки и группировки климатических данных, с помощью программы Microsoft Excel были получены усреднённые расчётные значения минимальной и максимальной температур и относительной влажности для каждого месяца (см. табл. 3).

В результате принята расчётная температура воздуха 36,6 °С и относительная влажность воздуха 80%.

В Эритрее нет метеорологических станций, а для проектирования систем кондиционирования воздуха нужны климатические данные за последние 5–10 лет, поэтому в качестве источника информации использованы справочные данные, которые предоставляет американское общество кондиционирования воздуха ASHRAE [6]. Meteorom 7 – инновационная программа по генерированию и анализу климатических данных – обеспечивает доступ к базе климатических данных для проектов, связанных с использованием возобновляемых источников энергии и проектированием систем жизнеобеспечения зданий в любой точке мира. При разработке программы был использован более чем 25-летний опыт работы в области развития климатических данных для экологического строительства.

Meteorom предназначен для инженеров, интересующихся потенциалом использования возобновляемых источников энергии и проектами, связанными с анализом климатических данных.

База данных: климатические данные от 8 300 метеорологических станций.

Используемые параметры: солнечное излучение, температура, влажность, количество осадков, направление и скорость ветра, количество солнечных дней и часов в году и другие.

Возможность выбора периодов 1961–1990 и 2000–2009 для температуры, влажности, осадков и скорости ветра.

Интерполирование результатов с высокой точностью для любой точки мира.

Генерирование данных по температуре, влажности и скорости ветра для проведения расчетов по энергоделению, анализу термического комфорта и дневного освещения.

Программа:

Полностью обновленная версия с применением интуитивного алгоритма.

Применение инновационного модуля Horicatcher, позволяющего воспроизводить панорамные виды внутри самой программы.

Обновленный инструмент по поиску местоположения на карте.

Обновленный интерфейс для использования пользовательских данных (включая данные из интернета).

Обычно полученные метеорологической станцией данные без дополнительного исследования могут быть использованы для близко расположенных от станции объектов.

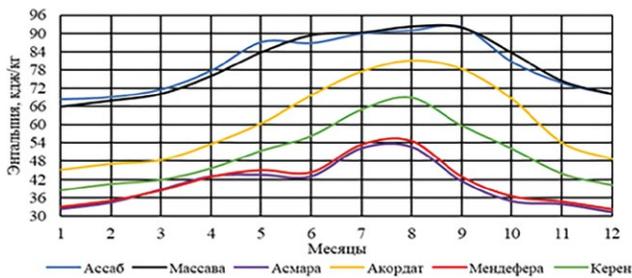
С использованием ежемесячных данных Meteorom производит вычисления почасовых данных относительно всех используемых параметров. Полученная результирующая составляющая в дальнейшем используется для создания так называемого типичного года, который может быть использован для проектирования систем жизнеобеспечения зданий. Необходимые для проведения расчетов данные для страны Эритрея получены на основе стандартов для ближайших к ней стран – Йемен и Саудовская Аравия.

Учитывая разницу в теплоемкости зданий, ASHRAE дает климатические условия проектирования с кумулятивной частотой 99 и 97,5% на зиму и 0,4, 1 и 2% на лето. Чтобы полностью отразить внутреннюю и наружную корреляцию, значения 99.4; 99; 97.5, 95, 92.5 и 90% кумулятивной частоты встречаемости были выбраны для генерации расчётной температуры внутреннего и наружного воздуха, температуры мокрого термометра, влажности и энтальпии по [7] и американской норме (ASHRAE) [6].

С целью развития рассмотренной методики использована программа, которая позволяет получить расчётные значения параметров путём группирования часовых данных и выявления из них расчётных условий, учитывающих соблюдение необходимой обеспеченности, связанной с учётом их энергоэффективности.

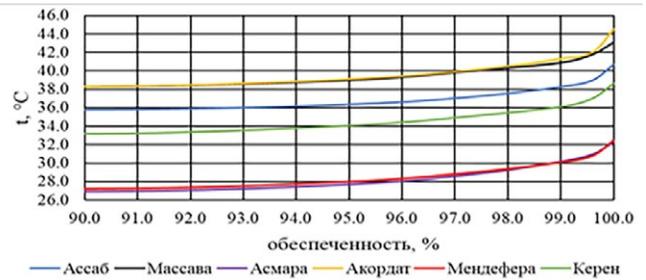
Результаты обработки исходных метеорологических данных представлены в таблицах 1–3. Обозначения в таблицах даны в соответствии с Meteorom 7:  $t$  – температура наружного воздуха, °С;  $sst_{mt}$  – средняя совпадающая температура мокрого термометра, °С;  $энт$  – энтальпия, кДж/кг;  $sst$  – средняя совпадающая температура наружного воздуха, °С;  $ссл$  – средняя совпадающая относительная влажность, %.

В процессе расчёта проведено сравнение значений температуры и влажности воздуха для г. Массава, полученных в результате наблюдений и в результате расчётов по данным ASHRAE для условия 95% обеспеченности. Относительная разность в значениях температур составляет 6,2%, относительная влажность отличается на 20%. Причиной является большая разбросанность значений,



**Рис. 4.** Средние максимальные значения энтальпии наружного воздуха по месяцам 2020 года.

**Fig. 4.** Average maximum values of outdoors enthalpy by months of 2020.



**Рис. 5.** Средние максимальные значения температуры наружного воздуха.

**Fig. 5.** Average maximum values of outdoor air temperature.

связанная с особенностью расположения города на берегу моря.

Характер изменения параметров в течение календарного года иллюстрируют рис. 4, 5.

Представленные графики указывают на то, что города Массава и Ассаб имеют наиболее сложные климатические условия. Параметры воздуха г. Массава с учётом необходимой энергоэффективности системы приняты при значении величины обеспеченности 95–97%.

Определение исходных данных для разработки системы кондиционирования воздуха было выполнено в порядке проведения натурно-производственного эксперимента, результатами которого были: расчёт площадей всех видов наружных ограждений, объёмов внутренних помещений по назначению и этажам, температуры и влажности воздуха помещений.

Сложные климатические условия Эритреи определили выбор специальной комбинированной экологически чистой системы кондиционирования воздуха [8, 9].

С целью поддержания необходимой температуры внутреннего воздуха аудиторий с большим количеством учащихся для каждого этажа принята VRF-система с одним внешним блоком и количеством внутренних блоков по числу помещений. Наружный воздух обрабатывается в приточной системе вентиляции с охлаждением воздухоохладителя холодильным агентом системы VRF. Подача в помещения

обработанного свежего воздуха производится с помощью приточно-вытяжной вентиляции, рассчитанной и подобранной в зависимости от количества людей в помещениях [8, 9].

Параметры внутреннего воздуха в помещениях колледжа поддерживаются с учётом их назначения [9] путём изменения потоков поступающего и удаляемого воздуха.

Исходные данные для теплового расчёта и подбора оборудования для условий обеспеченности 95%: температура наружного воздуха 39 °С; относительная влажность наружного воздуха 63,9%; расход наружного воздуха 20 м<sup>3</sup>/ч на чел.; размер площади на человека 2 м<sup>2</sup>; температура в помещении 25 °С; относительная влажность – 50%.

В табл. 4 приведены результаты расчёта теплопритоков и влагопритоков, отводимых из помещения обработанным наружным воздухом и внутренними блоками. Видно, что при большом количестве людей нагрузка на приточно-вытяжную вентиляцию значительно больше, чем на внутренние блоки.

Для решения о выборе систем кондиционирования воздуха и холодильных систем проведён анализ различных систем кондиционирования воздуха, результаты которого показывают значительную экономию энергии при использовании эффективных систем рециркуляции и утилизации теплоты удаляемого воздуха. Следует учитывать, что при рециркуляции воздуха значительно возрастают капитальные затраты на увеличение расхода воздуха

**Таблица 4.** Теплоприток и влагоприток по этажам

**Table 4.** Heat inflow and moisture inflow by floor

№	Этаж	N <sub>люд</sub>	W <sub>пом</sub> , кг/ч	Q <sub>н</sub> , кВт	Q <sub>внб</sub> , кВт
1	1 этаж	200	5,63	71,0	36,3
2	3 этаж	195	7,04	69,0	50,64
3	3 этаж	300	6,62	109,5	24
Итого		695	19,3	249,5	111,14

*Примечание:* N<sub>люд</sub> – количество людей в помещениях; W<sub>пом</sub>, кг/ч – расход удаляемой влаги из помещений; Q<sub>н</sub>, кВт – количество теплопритоков, отводимых из помещений обработанным наружным воздухом; Q<sub>внб</sub> – количество теплопритоков, отводимых из помещений внутренними блоками системы VRV.

и значительно увеличивается объём воздуховодов приточной вентиляции [10, 11]. Поэтому выбрана система с VRF и приточно-вытяжной системой с воздухоохладителями, охлаждаемыми холодильным агентом. На основании проведённых расчётов и анализа их результатов произведён подбор оборудования. В помещениях колледжа установлены внешние и внутренние блоки VRF IV:

RXQ10TANYM(E) – внешний блок 1 этаж (1 шт);  
FXCQ20AVM – внутренний блок 1 этаж (14 шт);  
RXQ14TAYM(E) – внешний блок 2 этаж (2 шт);  
FXCQ20AVM – внутренний блок 2 этаж (18 шт);  
RXQ8TAYM(E) – внешний блок 3 этаж (1 шт);  
FXCQ20AVM – внутренний блок 3 этаж (8 шт).

Для приточной вентиляции принята система охлаждения воздухоохладителей центральных кондиционеров наружными блоками VRF:

1 этаж RXQ26TANYM(E) (1 шт) Q = 73,5 кВт;  
2 этаж RXQ26TANYM(E) (1 шт) Q = 73,5 кВт;  
3 этаж RXQ20TANYM(E) (2 шт) Q = 118 кВт.

Для 1-го и 2-го этажей установлен приточный кондиционер КЦКП-3,15-У3 производительностью 4000 м<sup>3</sup>/ч. Для 3-го этажа установлен приточный кондиционер КЦКП-16-У3 производительностью 6000 м<sup>3</sup>/ч.

При проектировании, расчёте и подборе оборудования использованы программы Revit, Coolpack, Excel, Veza KCKPI, VRV Xpress.

Вопрос о размещении оборудования СКВ предлагается решить с использованием свободных площадей коридоров на основании планировки каждого этажа.

## ВЫВОДЫ

1. Применение специальной технологии обработки результатов метеорологических наблюдений

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Enteria N., Awbi H., Santamouris M. Perspective and Advances of Houses and Buildings in Hot and Humid Regions // *Building in Hot and Humid Regions*. Singapore: Springer, 2019. P. 1–14. doi: 10.1007/978-981-13-7519-4\_1
2. Aste N., Butera F.M., Adhikari R.S., et al. Sustainable Building Design for Tropical Climates // *Innovative Models for Sustainable Development in Emerging African Countries*. 2019. P. 37–46. DOI: 10.1007/978-3-030-33323-2\_4
3. ASHRAE Handbook, 1999. Applications. Chap. 1: Control of Gaseous Indoor Air Contaminants. 2004. 504 p.
4. Different types of air conditioning systems. URL: <https://www.rightnowair.com/webapp/p/620/different-types-of-air-conditioning> (01.12.2021).
5. Malyavina E., Malikova O., Lyong P. Methods of selection of the outdoor air design temperature and enthalpy in the warm period of the year // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. P. 1–9. doi: 10.1088/1757-899X/365/2/022057

позволяет решить основную задачу – обоснование расчётных значений температуры и влажности наружного воздуха.

2. Обеспечение температуры внутреннего воздуха проводится в соответствии с назначением помещения.
3. С учётом сложных климатических условий выбрана специальная комбинированная экологически чистая система кондиционирования воздуха.
4. При проведении расчёта и подбора оборудования СКВ использовано современное программное обеспечение.
5. Применение инновационной программы Meteororm 7 позволяет определять необходимые климатические данные для расчёта системы кондиционирования воздуха на всей территории Эритреи.
6. Приведён пример результатов проектирования системы VRV и приточно-вытяжной системы для Морского колледжа города Массавы, которая позволяет обеспечить необходимые климатические параметры в условиях сложного климата.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Финансирование.** Исследование выполнено без спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, связанного с подготовкой и публикацией статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding sources.** The study compleate with no funding.

**Competing interests.** Authors declare absence of any competind interests.

6. Westberg D., Stackhouse Jr.P., Crawley D., et al. An Analysis of NASA's MERRA Meteorological Data to Supplement Observational Data for Calculation of Climatic Design Conditions // *ASHRAE Transactions Conference*. Denver, Colorado. 2013. Vol. 119, part 2. P. 210–221.
7. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. М., 2020. 153 с.
8. ASHRAE standard 90.2-2007. Energy Efficient Design of Low-rise residential buildings. 2016. 52 p.
9. СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения. М., 2012. 92 с.
10. The Essentials of Working with R-410A. URL: <https://www.achrnews.com/articles/92875-the-essentials-of-working-with-r-410a> (01.12.2021).
11. Hitchin R., Knight I. Daily Energy Consumption Signatures and Control Charts for Air-Conditioned Buildings // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 112. P. 101–109. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.11.059

## REFERENCES

1. Enteria N, Awbi H, Santamouris M. Perspective and Advances of Houses and Buildings in Hot and Humid Regions. *Building in Hot and Humid Regions*. Singapore: Springer; 2019. p. 1–14. doi: 10.1007/978-981-13-7519-4\_1
2. Aste N, Butera FM, Adhikari RS, et al. Sustainable Building Design for Tropical Climates. *Innovative Models for Sustainable Development in Emerging African Countries*. 2019, p. 37–46. doi: 10.1007/978-3-030-33323-2\_4
3. *ASHRAE Handbook*, 1999. Applications. Chap. 1: Control of Gaseous Indoor Air Contaminants. 2004, 504 p.
4. Different types of air conditioning systems. URL: <https://www.rightnowair.com/webapp/p/620/different-types-of-air-conditioning> (01.12.2021).
5. Malyavina E, Malikova O, Lyong P. Methods of selection of the outdoor air design temperature and enthalpy in the warm period of the year. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018, p. 1–9. doi: 10.1088/1757-899X/365/2/022057
6. Westberg D, Stackhouse JrP, Crawley D, et al. An Analysis of NASA's MERRA Meteorological Data to Supplement Observational Data for Calculation of Climatic Design Conditions. *ASHRAE Transactions Conference*. Denver, Colorado; 2013. Vol. 119, part 2, p. 210–221.
7. SP 131.13330.2020 *Stroitel'naja klimatologija*. Moscow, 2020. 153 p. (In Russ.)
8. ASHRAE standard 90.2-2007. *Energy Efficient Design of Low-rise residential buildings*. 2016, 52 p.
9. SP 118.13330.2012 *Obshchestvennye zdaniya i sooruzheniya*. Moscow, 2012. 92 p. (In Russ.)
10. *The Essentials of Working with R-410A*. URL: <https://www.achrnews.com/articles/92875-the-essentials-of-working-with-r-410a> (01.12.2021). (In Russ.)
11. Hitchin R, Knight I. Daily Energy Consumption Signatures and Control Charts for Air-Conditioned Buildings. *Energy and Buildings*. 2016;112:101–109. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.11.059

## ОБ АВТОРАХ

**\*Галимова Лариса Васильевна**, д-р. техн. наук, профессор;  
адрес: Россия, 414056 г. Астрахань, ул. Татищева, 16;  
SPIN: 4573-7810;  
e-mail: galimova\_lv@mail.ru

**Семёнов Александр Евгеньевич**, канд. техн. наук, доцент;  
SPIN: 6482-8182;  
e-mail: semenalex48@yandex.ru

**Лувам Дебас Гебрегиоргис**, аспирант;  
e-mail: alref96@gmail.com

\* Автор, ответственный за переписку

## AUTHORS' INFO

**\*Larisa V. Galimova**, Dr. Sci. (Eng.), Professor;  
address: 16, ул. Татищева, г. Астрахань, 414056, Russia;  
SPIN: 4573-7810;  
e-mail: galimova\_lv@mail.ru

**Aleksandr E. Semenov**, Cand. Sci. (Tech.);  
SPIN: 6482-8182;  
e-mail: semenalex48@yandex.ru

**Debas G. Luvam**;  
e-mail: alref96@gmail.com

\* Corresponding author