

УДК 697.9

## Обоснование энергоэффективных процессов обработки воздуха в системах кондиционирования

А. С. САЛМАН<sup>1</sup>, д-р техн. наук А. Б. СУЛИН<sup>2</sup>, канд. техн. наук В. И. ЛЫСЁВ<sup>3</sup>,  
канд. техн. наук Т. В. РЯБОВА<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ahsalman1976@gmail.com, <sup>2</sup>miconta@rambler.ru, <sup>3</sup>lysev\_vladimir@mail.ru, <sup>4</sup>rjabova\_tatjana@mail.ru

Университет ИТМО

*Рассмотрены возможности и перспективы оценки качества решения системы кондиционирования по количественным показателям на основе системного подхода энергосберегающих режимов А. А. Рымкевича. В соответствии с общепринятой формулировкой, технологические параметры, выраженные числовой характеристикой, описывают работоспособность системы. Выбор показателей и критериев оптимизации является одним из основных вопросов системного подхода. Важную роль играют ориентированные показатели, которые характеризуются некоторым заранее заданным числовым значением для заданных условий. Тогда любое принимаемое решение может быть оценено по степени отклонения истинного значения от предельного показателя. В основу расчета критериев технологических показателей должны быть положены естественные затраты, не связанные с конъюнктурой рынка. Конкретное решение по конфигурации системы кондиционирования формируется на основании определенной технологической последовательности тепловлажностной обработки воздуха в процессе реализации определенных режимов функционирования системы в течении конкретного временного периода эксплуатации. Это обуславливает важность рационального выбора технологической схемы тепловлажностной обработки воздуха уже на этапе эскизного проектирования систем кондиционирования. При этом технологическая схема подразумевает определенную последовательность процессов с минимизированными расходами потребляемых технологических ресурсов, а именно, — теплоты, холода, воздуха и воды. Предложена методика формирования энергетически эффективных систем кондиционирования на основе статистической модели климатических параметров наружного воздуха для различных интервалов времени и климатических районов.*

**Ключевые слова:** система кондиционирования, технологические параметры, наружный климат, класс нагрузок, энергосберегающий режим.

---

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 31.05.2021, принята к печати 16.07.2021

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-23-31

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Салман А. С., Сулин А. Б., Лысёв В. И., Рябова Т. В. Обоснование энергоэффективных процессов обработки воздуха в системах кондиционирования // Вестник Международной академии холода. 2021. № 3. С. 23–31. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-23-31

---

## Justification of energy efficient air handling processes in conditioning systems

A. S. SALMAN<sup>1</sup>, D. Sc. A. B. SULIN<sup>2</sup>, Ph. D. V. I. LYSEV<sup>3</sup>, Ph. D. T. V. RYABOVA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ahsalman1976@gmail.com, <sup>2</sup>miconta@rambler.ru, <sup>3</sup>lysev\_vladimir@mail.ru, <sup>4</sup>rjabova\_tatjana@mail.ru

ITMO University

*Possibilities and prospects of assessing the quality of air conditioning system solution by quantitative indicators based on the system approach of energy-saving modes by Professor A. A. Rymkevich are considered. In accordance with the generally accepted formulation, technological parameters expressed by a numerical characteristic describe the performance of the system. The choice of indicators and optimization criteria is one of the main issues of the system approach. An important role is played by oriented indicators, which are characterized by some predetermined numerical value for given conditions. Then, any decision to be made can be evaluated by the degree of deviation of the true value from the limiting indicator. The calculation of the criteria of technological indicators should be based on the natural costs, not related to the market conditions. The formation of the quality of a particular air conditioning system solution is based on the technological sequence of thermal and humid air treatment processes, which are implemented through the corresponding modes of operation of the system during the period of operation under consideration. Therefore, an important link at the stage of conceptual design of air conditioning systems is a reasonable choice of technology for heat and humidity treatment of air, which includes a sequence of optimal, from the point of view of consumption of technological resources (consumption of*

*heat, cold, air and water). A method of forming energy efficient air conditioning systems on the basis of a statistical model of climatic parameters of ambient air for different time intervals and climatic regions is proposed.*

**Keywords:** air conditioning system, technological parameters, outdoor climate, load class, energy-saving mode.

#### Article info:

Received 31/05/2021, accepted 16/07/2021

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-23-31

Article in Russian

#### For citation:

Salman A. S., Sulin A. B., Lysev V. I., Ryabova T. V. Justification of energy efficient air handling processes in conditioning systems. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021. No 3. p. 23–31. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-23-31

## Введение

Конкретное решение по конфигурации системы кондиционирования формируется на основании определенной технологической последовательности тепловлажностной обработки воздуха в процессе реализации определенных режимов функционирования системы в течение конкретного временного периода эксплуатации. Это обуславливает важность рационального выбора технологической схемы тепловлажностной обработки воздуха. При этом технологическая схема подразумевает определенную последовательность процессов с минимизированными расходами потребляемых технологических ресурсов, а именно, теплоты, холода, воды и воздуха.

Важным обстоятельством является учет энергоемкости процессов обработки воздуха в системах кондиционирования, которая должна учитываться для обоснования наиболее энергоэффективных режимов использования технологических ресурсов, что соответствует положениям Федерального закона № 261-ФЗ [1].

Теоретические основы оптимизации режимов функционирования систем кондиционирования разработаны А. А. Рымкевичем и известны как метод энергосберегающих режимов [2, 3]. Практическая реализация данного метода, для его эффективного применения при проектировании систем кондиционирования в современных условиях, существенно упрощена благодаря росту производительности вычислительной техники.

Целью работы является анализ возможностей использования системного подхода на базе новой информации о климате с использованием разработанного программного продукта для вычисления расходных и термодинамических параметров систем кондиционирования.

## Основные положения метода оптимизации энергосберегающих режимов

Выбор оптимальных энергетически эффективных схем обработки воздуха в СК с использованием методов системного анализа подробно изложен в работах А. А. Рымкевича [2, 4] и должен быть использован на стадии разработки эскизного проекта системы кондиционирования [5].

Основные положения системного анализа разработаны А. А. Рымкевичем на основе общих положений оптимизации, сформулированных Л. С. Попыриным [6] применительно к области «большой» энергетики. С учетом специфики СК и решаемых задач основные особенности используемого подхода характеризуются следующими положениями.

Требования к математическому моделированию СК, как основному инструменту системного анализа и поиска оптимального решения, включают совокупность факторов (признаков) таких, как [2]:

- принципиальное решение системы;
- технологическая схема для данного принципиального решения;
- режимы функционирования для принятой технологической схемы;
- методы управления в пределах данного режима;
- функционально-технические характеристики оборудования;
- принятые и вынужденные ограничения.

Для анализа процессов тепловлажностной обработки воздуха и осуществляемых в СК режимов функционирования традиционно используется *I-d*- диаграмма состояния влажного воздуха [7].

А. А. Рымкевич предложил графическую интерпретацию обобщения исходной информации об объекте на основе классов нагрузок [2, 4], а именно: термодинамического состояния воздуха и тепловлаговыделений в помещении, расходов наружного и приточного воздуха. Использование расчетных схем термодинамических моделей и соответствующие им области наружных параметров (расчетных зон), в пределах которых производится одинаковая тепловлажностная обработка воздуха, позволяют выявлять наиболее рациональные (оптимальные) режимы функционирования СК [8].

Далее приводятся логически обоснованные построения на *I-d*- диаграмме расчетных схем и соответствующие им уравнения для вычисления технологических параметров (ТП) [9].

Границы на *I-d*- диаграмме для каждой расчетной зоны определены при условии, что, в соответствии с формулами (1)–(3), равен нулю расход теплоты, холода или влаги на увлажнение воздуха. Условия минимизации потребления теплоты  $Q_t$ , холода  $Q_x$ , воды на увлажнение воздуха  $W$  видны из уравнений [1, 3]:

$$Q_t = G_n (i_y - i_n) - Q_{\text{пом}}; \quad (1)$$

$$Q_x = Q_{\text{пом}} - G_n (i_y - i_n); \quad (2)$$

$$W = G_n (d_y - d_n) - W_{\text{пом}}, \quad (3)$$

где  $Q_t$  — потребление теплоты, кВт/м<sup>2</sup>;  $Q_x$  — потребление холода, кВт/м<sup>2</sup>;  $W$  — потребление воды при увлажнении воздуха, г/(с · м<sup>2</sup>).

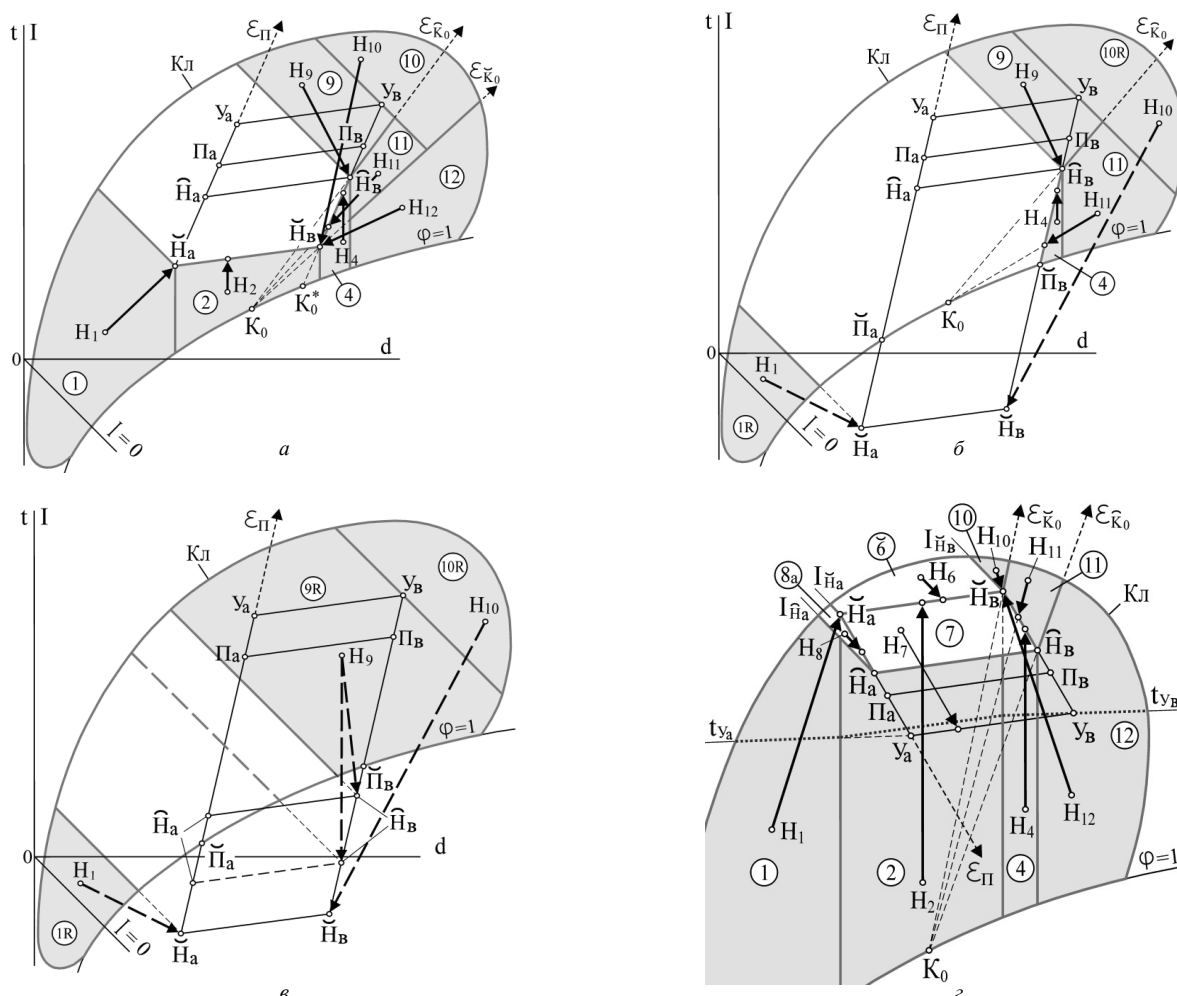


Рис. 1. Расчетные термодинамические схемы идеальной модели СК с подсистемой адиабатического увлажнения воздуха для классов нагрузок: а — I класс; б — II класс; в — (II+III), III классы; г — IV класс

Fig. 1. Design thermodynamical schemes for an ideal model of a central air conditioning system with a subsystem of adiabatic air humidification for the following classes of loads: а — I class; б — II class; в — (II+III), III classes; г — IV class

Для каждой климатической зоны (при конкретных значениях параметров наружного воздуха  $i_n$  и  $d_n$ ) необходимо выбирать такие значения  $G_n$ ,  $i_y$  и  $d_y$ , которые приводят к наименьшим (оптимальным) значениям технологических параметров (ТП).

Минимально-неизбежные расходы СК есть значения, достижимые в идеализированной системе при отсутствии каких-либо ограничений. Они вычисляются по вышеприведенным формулам, записанным через исходные данные, т. е. нагрузки помещения, параметры внутреннего и наружного воздуха.

Исходная термодинамическая схема (ИТС) — это обобщенная форма информации о тепловых и влажностных нагрузках в помещении, минимально-необходимом и максимально-неизбежном расходе воздуха [2, 4].

Исходными условиями для решаемой задачи являются:

- объект обслуживается центральной СК;
- термодинамические параметры воздуха в помещении соответствуют линии  $Y_a$   $Y_b$ , где  $t_{Y_a} = 20$  °C,  $\phi_{Y_a} = 30\%$ ,  $t_{Y_b} = 24$  °C,  $\phi_{Y_b} = 60\%$ ;
- помещение является встроенным и не граничит с наружным воздухом;
- удельные тепlopоступления  $q_{вн} = 8 \cdot 10^{-2}$  кВт/м<sup>2</sup>;

- удельные влагопоступления  $W_{вн} = 5 \cdot 10^{-3}$  г/(с·м<sup>2</sup>);
- минимально неизбежный расход наружного воздуха  $m_{\bar{H}} = 2 \cdot 10^{-3}$  кг/(с·м<sup>2</sup>); максимально целесообразный расход наружного воздуха  $m_{\bar{H}} = 7,2 \cdot 10^{-3}$  кг/(с·м<sup>2</sup>);
- принятые допущения в модели СК соответствуют идеальной модели [2];
- статистическая модель наружного климата соответствует климатическим параметрам Санкт-Петербурга и Багдада;
- внутренние возмущающие воздействия постоянны, режим работы круглосуточный;
- принят второй класс нагрузок, ИТС разработана в соответствии с методом энергосберегающих режимов А. А. Рымкевича.

Расчетная термодинамическая схема (РТС) относится к таким представлениям на  $I$ - $d$ -диаграмме, которые разделяют область внешнего наружного климата на расчетные зоны.

Сочетание классов нагрузок: (I+II), (I+III), (I+IV), (II+III) в помещении на  $I$ - $d$ -диаграмме влажного воздуха представлено на рис. 1.

Каждой комбинации параметров наружного воздуха соответствует определенная последовательность его об-

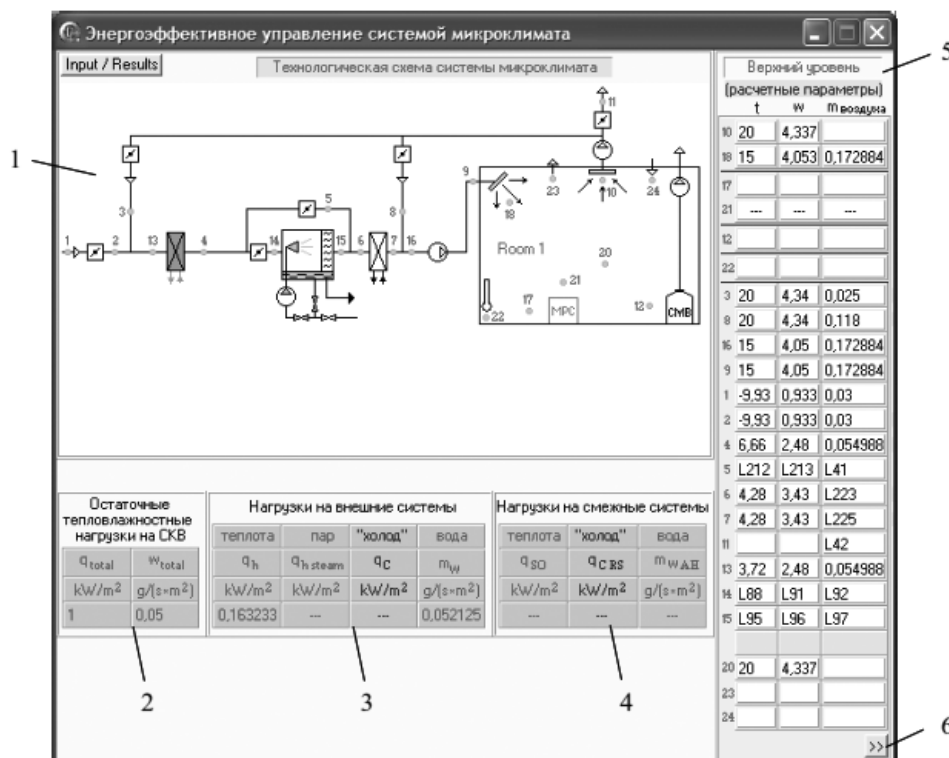


Рис. 2. Интерфейс программы

Fig. 2. Program interface

работки, а значения параметров наружного воздуха, при которых необходимо переключиться с одного режима обработки воздуха на другой, определяют границы зон [10].

На основе РТС рассчитываются технологические параметры (ТП), характеризующие расходы теплоты, холода, воздуха и воды за любой исследуемый период эксплуатации СК [11].

Все режимы функционирования СК (адиабатический режим) за годовой цикл эксплуатации выделены в следующие четыре группы:

- режимы потребления теплоты (расчетные зоны: 1, 1R, 2, 4);
- режимы потребления холода (расчетные зоны: 9, 9R, 10, 10R, 11);
- режимы потребления теплоты и холода (расчетная зона: 12);
- режимы без потребления теплоты и холода (расчетные зоны: 6, 6R, 7, 8, 8R,).

### Математическая модель и программное обеспечение

Разработанная компьютерная программа выполняет расчет режимов функционирования и потребляемых системой кондиционирования ресурсов за заданный временной период [12]. Компьютерная программа может использоваться для проведения различного рода исследований, в том числе, связанных с имитационным моделированием энергосберегающих режимов СК, как на этапе эскизного проектирования, так и при управлении в процессе эксплуатации системы.

Программа написана на языке программирования «Delphi». В комплект программы входят исполняемый файл ATLANT\_3EV1.exe, папка «Климат» с тремя вло-

женными папками, в которых в формализованном виде представлена информация о климате городов, и папка «DDD» с файлами графических элементов.

Алгоритм разработанной программы обеспечивает обработку данных о потребляемых системой кондиционирования ресурсах с учетом фактора продолжительности на разных уровнях детализации процессов обработки воздуха от обобщенной формы до уровня подсистем с учетом конкретных сочетаний параметров наружного климата [13].

Компьютерная программа содержит в себе следующие элементы:

- электронную  $I-d$ - диаграмму влажного воздуха;
- алгоритм формализованного определения класса нагрузок;
- алгоритм формализованного определения расчетных зон.

Графический интерфейс электронной диаграммы обеспечивает представление исходной расчетной информации, результатов выполнения расчетных процедур, ввода координат географической точки для определения параметров наружного климата.

Результаты расчета в электронной диаграмме оформляются как вывод следующей информации:

- обозначение опорных точек при построении ИТС;
- характеристики режимов и процессов РТС, к которым относятся векторы режимов функционирования, процессы обработки воздуха в подсистемах СК, процессы ассимиляции теплоты и влаги в помещении;
- область параметров наружного климата за определенный период времени, например, за определенный месяц календарного года.

Кроме того, данная программа позволяет производить выбор установочной (расчетной) производительно-

сти оборудования в зависимости от заданного времени необеспеченности  $\tau_{необ}$  нормируемых параметров воздуха в помещении [14, 15] как на этапе эскизного проектирования, так и при управлении в процессе эксплуатации системы. Один из интерфейсов программы «Энергоэффективное управление системой микроклимата» в свернутом виде приведен на рис. 2.

Компьютерное моделирование позволяет также проводить практические упражнения и лабораторные работы, связанные с выполнением расчетных процедур для процессов тепловой и влажностной обработки воздуха, графического изображения этих процессов на  $I$ - $d$ -диаграмме [12].

**Климатическая информация  
о параметрах наружного воздуха**

Информация о климатических параметрах наружного воздуха необходима для различных интервалов времени и климатических районов.

На  $I$ - $d$ -диаграмме влажного воздуха климатическая информация для выбранного расчетного периода времени графически представлена точками с координатами  $t_{ср}$ ,  $d_{ср}$ . Для каждой климатической точки рассчитано время полной повторяемости комбинаций температуры и относительной влажности воздуха в пределах элементарных участков [16]. Решение задачи представления информации о наружном климате с позиций энергоэффективности СК рассматривалась в работах [17, 18]. Показано, что неудовлетворительный выбор климатической информации приводит как к неоправданному завышению установочной мощности и к увеличению капитальных затрат подсистем СК, так и к увеличению времени необеспеченности, т. е. к отклонению параметров воздушной среды в помещении от нормируемых значений.

В климатическом справочнике [5] ( $t$ - $\phi$ -таблицы) представлены с меньшими интервалами температур  $\Delta t = 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности с интервалом  $\Delta \phi = 5\%$ , а значения повторяемости сочетаний температуры и относительной влажности приведены как за год, так и по месяцам. Информация о климате в виде ( $t$ - $\phi$ )-таблиц в целом позволяет решить перечисленные выше проблемы.

На  $I$ - $d$ -диаграмме влажного воздуха область параметров наружного климата может быть наглядно представлена «элементарными участками» с интервалами удельной энтальпии  $\Delta I$  и влагосодержания наружного воздуха  $\Delta d$  [1].

Элементарные участки области наружного климата могут быть представлены значениями двух температур: температуры сухого термометра  $t$  и температуры влажного термометра  $t_M$  в ( $t$ - $t_M$ )-таблицах [14, 15]. Информация в виде этих таблиц может быть использована для решения вышеуказанных задач на этапе эскизного проектирования АС. Однако эти таблицы имеют определенные недостатки, которые могут быть устранены путем использования рекомендуемой формы представления климатической информации в виде ( $t$ - $d$ )-таблиц в электронном виде (для автоматических расчетов информация о климате из табличных ( $t$ - $d$ )-таблиц переводится в электронный вид, где каждая таблица представлена в редакторе «Блокнот» в виде отдельного файла). Такая информация представлена климатическими статистическими данными, основанными

Таблица 1  
**Климатические параметры наружного воздуха  
(Санкт-Петербург, за месяц)**

Table 1

**Parameters of outdoor air  
(for a month, Saint Petersburg)**

Август		Среднее значение влагосодержания $d_{ср}$ в каждом из интервалов, г/кг (сух. возд.)											
Среднее значение температуры $t_{ср}$ в каждом из интервалов, °C	дни	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	
	5		2	1									
	7		1	6	2								
	9		2	7	16	3							
	11	1	1	10	19	32	6						
	13		2	8	15	32	48	10					
	15		2	7	12	22	45	55	19				
	17		1	3	8	17	25	34	35	19			
	19			2	6	10	17	20	20	16	8		
	21			1	2	6	9	11	11	10	5	2	
	23			1	2	3	6	7	6	5	3		
	25				1	1	4	3	3	3	2	1	
	27					1	1	1	1	1	1		
	29							1					

на фактических измерениях термодинамических параметров наружного воздуха в режиме реального времени в виде таблиц с «ячейками», содержащими повторяемость температуры наружного воздуха с шагом  $5^\circ\text{C}$ , относительной влажности с шагом  $5\%$  и влагосодержания с шагом  $1\text{ г/кг}$  (табл. 1). Столбцы содержат средние значения интервалов влажности  $d_{ав}$ , строки — средние значения интервалов температуры  $t_{ав}$ . Таблицы формул текстового файла ( $t$ - $d$ ) состоят из 45 столбцов и 20 строк по пять нулевых цифр; диапазон температур от  $-60^\circ\text{C}$  до  $+60^\circ\text{C}$  с общим количеством интервалов  $(5 \times 45) = 225$ .

Исходная информация о наружном климате систематизирована в виде таблиц помесечных значений параметров средних значений влагосодержания  $d_{ср}$  и температуры  $t_{ср}$ . Таким образом, полная информация о наружном климате за год представлена в виде 68 таблиц с учетом трех временных смен по 8 часов в сутки.

Алгоритмом программы выполняется представление информации о наружном климате на  $I$ - $d$ -диаграмме точками с координатами  $t_{ср}$  и  $d_{ср}$ . На следующем шаге выполнения алгоритма для каждого сочетания данных параметров определяется такой режим функционирования системы кондиционирования, который обеспечивает минимальное потребление технологических ресурсов. За расчетные временные периоды выбираются год, сезон, месяц или восьмичасовые смены.

Разработанная форма представления о климатических параметрах наружного воздуха (в табличном и формализованном виде) подготовлена для четырех городов Российской Федерации (г. Архангельск, Москва, С-Петербург, г. Ростов-на-Дону) [18] и столицы Ирака г. Багдада [19].

**Многовариантные расчеты потребляемых  
в системе кондиционирования ресурсов**

Ниже представлены многовариантные расчеты потребляемых в СК ресурсов (технологических параметров: расходов теплоты, холода, воздуха и воды за расчетный

период времени функционирования системы), а также установочные производительности основного оборудования подсистем СК в зависимости от времени необеспеченности (нарушения) нормируемых параметров в помещении (см. табл. 2, рис. 3–5).

На *I-d*- диаграмме влажного воздуха климатическая информация для выбранного расчетного периода времени графически представляется точками с координатами  $t_{ср}$  и  $d_{ср}$ . Для каждой климатической точки рассчитано время полной повторяемости комбинаций температуры и относительной влажности воздуха в пределах элементарных участков [20].

Расчетные значения технологических параметров приведены в табл. 2:

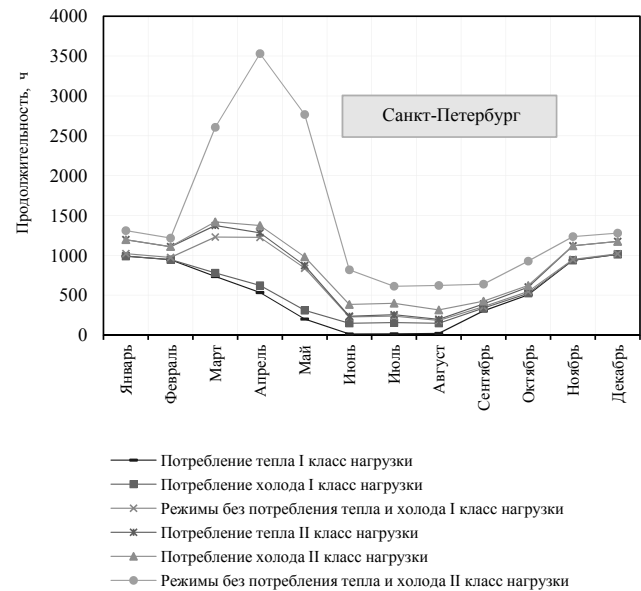
— в строках значений величин последовательно приведены показатели СК при адиабатическом увлажнении и при увлажнении насыщенным паром;

Таблица 2  
Значение технологических параметров годового цикла для второго класса нагрузок

Table 2

Technological parameters of an annual cycle for the loads of the II class

Группы Режимов		Климатический район	
		Санкт-Петербург	Багдад
Потребление теплоты $q_T$ , (кВт/м <sup>2</sup> )	$\sum q_T$	237 (12,4%)	68,6 (3,2%)
	$\sum \tau_T$	388 (31,7%)	155,2 (12%)
Потребление холода $q_{св}$ , (кВт/м <sup>2</sup> )	$\sum q_{св}$	274,3 (7,2%)	2198,5 (29,7%)
	$\sum \tau_{св}$	642 (16,8%)	2853 (51,2%)
Без потребления $q_T$ и $q_{св}$	$\sum q_0$	0 (80,4%)	0 (68,4%)
	$\sum \tau_0$	0 (51,5%)	0 (38,2%)



— цифры без скобок означают затраты на тепло или холод, цифры в скобках — продолжительность режимов в процентах от года.

Анализ данных табл. 2 и рис. 3 показывает, что расход тепла при увлажнении паром увеличен в 2,6 раза для Санкт-Петербурга; для Багдада — в 1,3 раза. Превышение потребления холода для Санкт-Петербурга составило 2,1 раза; для Багдада 3,2 раза. Продолжительность работы без потребления тепла и холода при увлажнении паром для Санкт-Петербурга уменьшилась в 1,6 раза, для Багдада остаются почти такими же, в паровом режиме (2423 ч) и в адиабатическом режиме (2451 ч).

Данные на рис. 4 показывают, что при втором классе нагрузок периоды без потребления теплоты и холода увеличиваются за счет сокращения периодов с потреблением теплоты. Остальные изменения не очевидны, так как требуют расчетов с учетом времени стояния параметров наружного воздуха на элементарных площадках *I-d*- диаграммы.

По результатам анализа представленных материалов следует отметить следующее.

1. Потребление тепла для Санкт-Петербурга почти такое же, во втором классе нагрузки для Багдада увеличилось в 1,3 раза; при первом классе нагрузки для Санкт-Петербурга потребление тепла увеличивается в 25 раз, для Багдада — в 57 раз.

2. Потребление холода для первого и второго классов нагрузки находится на уровне нормы по Санкт-Петербургу, но меньше в два с половиной раза, чем по Багдаду.

3. Продолжительность периодов без потребления теплоты и холода следующие: для второго класса нагрузки она достигает 7000 ч в год; для первого класса нагрузки она находится в пределах 2000 ч, т. е. с разни-

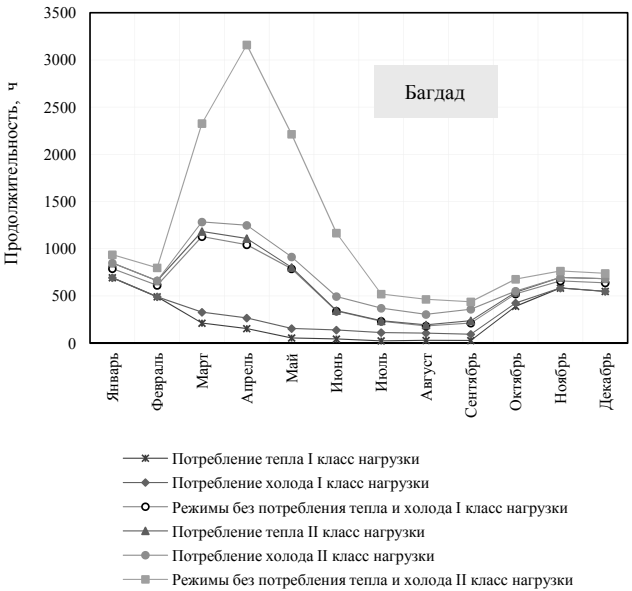


Рис. 3. Годовые значения технологических параметров СК по месяцам года при продолжительности потребления энергоресурсов: а — Санкт-Петербург, б — г. Багдад

Fig. 3. Annual values of technological parameters of air-conditioning system by month at the time of energy consumption in: а — Saint Petersburg, б — Baghdad

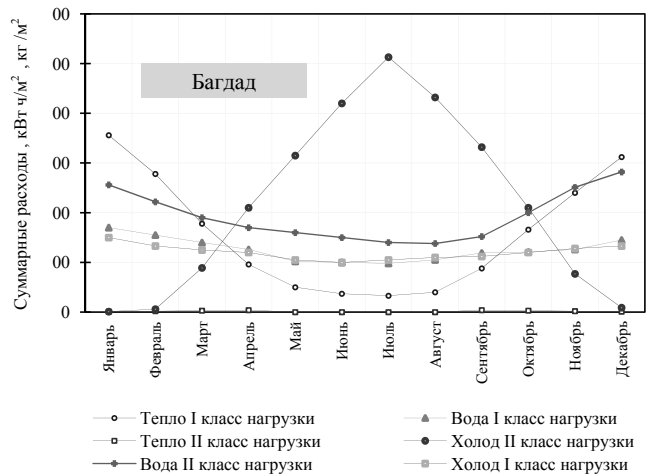
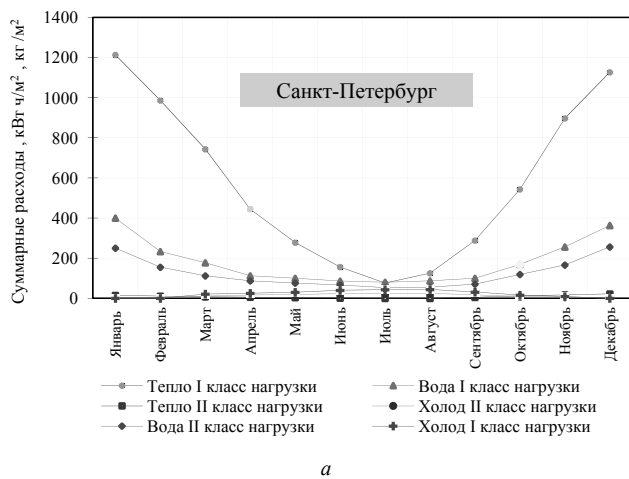


Рис. 4. Годовые значения технологических параметров СК по месяцам при различных классах нагрузок потребления энергоресурсов: а — Санкт-Петербург, б — г. Багдад

Fig. 4. Annual values of technological parameters of air-conditioning system by month at various classes of energy consumption loads in: а — Saint Petersburg, б — Baghdad

цей почти в 4 раза для Санкт-Петербурга; и в 2,9 раза для Багдада.

Подобные результаты расчетов можно представить также по расходам воды на увлажнение, расходам воздуха в кондиционере на притоке и на первой и второй рециркуляции.

На рис. 5 приведены удельные годовые расходы СК для различных классов нагрузок по месяцам года. Следует отметить особенности функционирования СК за отдельные месяцы для каждого города, в частности:

- наблюдаются значительные различия в потреблении тепла для первого и второго классов нагрузок, с той лишь разницей, что в последнем случае можно обнаружить это различие по каждому месяцу: в январе потребление теплоты в Санкт-Петербурге больше, чем в Багдаде. Для нескольких месяцев теплота потребляется в теплый период года, когда централизованное теплоснабжение отключено.

- при близких значениях потребления холода в году, для городов Санкт-Петербург и Багдаде потребление холода в каждом месяце летнего периода отличается в 3–4 раза. В Багдаде потребление холода выше, чем в Санкт-Петербурге, в июле в 2,2 раза, а в июне в 2 раза, а в августе в 1,7 раза.

### Закключение

Наиболее сложной системой в структуре систем обеспечения микроклимата является система кондиционирования. Для разработки технического решения систем кондиционирования используется системный подход, в котором основное внимание уделяется моделированию режимов и технологических процессов систем кондиционирования.

Установлена необходимость выполнения энергетической оценки процессов тепловлажностной обработки воздуха с позиций определения эффективности использования потребляемых при их реализации технологических ресурсов [21, 22].

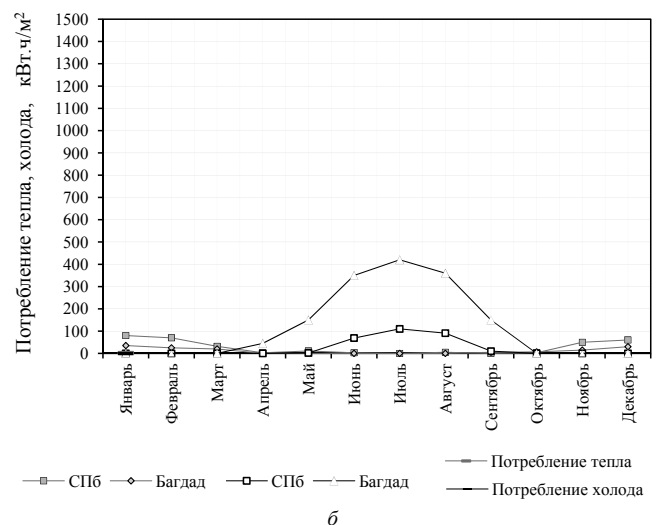
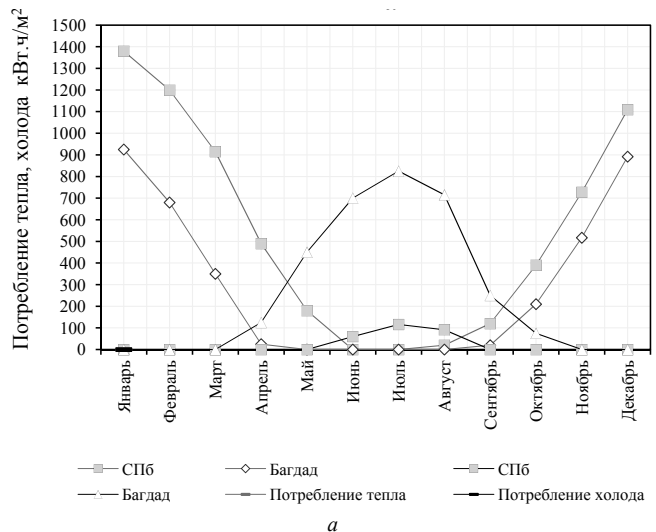


Рис. 5. Годовые расходы СК по месяцам года: а — для первого класса нагрузок; б — для второго класса нагрузок

Fig. 5. Annual consumption of air-conditioning system by month: а — for the loads of the I class; б — for the loads of the II class

Таким образом, предложенная форма представления климатической информации позволит реализовать три взаимосвязанных проблемы:

— выбор оптимальных решений по технологическим схемам и реализуемым в них режимам функционирования систем кондиционирования;

— определение установочной производительности подсистем с учетом различной степени необеспеченности нормируемых параметров воздуха в помещениях;

— выполнение расчета расхода теплоты, холода, воздуха и воды, потребляемых системами кондиционирования в зависимости от различных периодов времени.

## Литература

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. // Собрание законодательства Российской Федерации. 2009, № 48. Ст. 5711.
2. Рымкевич А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха, СПб.: АВОК Северо-Запад, 2003. 271 с.
3. Коченков Н. В., Коченков В. Н. Выбор критериального показателя и анализ его целевой функции в задаче оптимизации технологического процесса обработки воздуха в системах кондиционирования. // Вестник гражданских инженеров. 2016, № 4 (57).
4. Рымкевич А. А. Возможности и перспективы оценки качества решения СКВ количественными показателями на основе системного подхода // Инженерные системы. 2007. № 2. С. 16–24.
5. ГОСТ 2.119–2013. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Эскизный проект.
6. Попыrien Л. С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. М.: Энергия, 1978. 416 с.
7. Сотников А. Г. Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Полный комплекс требований, исходных данных и расчетной информации для СО, СПВ, СКВ, СГВС и СХС (В 2-х томах с продолжением). Т. 1, СПб., 2013. 423 с.
8. Abu Bakar N. N., Hassan M. Y., Abdullah H., Rahman H. A., Abdullah M. P., Hussin F., Bandi M. Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review, Renew. Sustain. Energy Rev. 44 (2015) 1–11. DOI: 10.1016/J. RSER. 2014.12.018.
9. Gvozdkov A. Modern solutions to improve the efficiency of air treatment in HVAC Systems. The 9th International Conference «Environmental Engineering». Selected Papers, Article number: enviro. 2014. — 260 p.
10. Gavrilin V. A., Karakeyan V. I., Ryabyshenkov A. S. Evaluation of the efficiency of the air conditioning system of clean industrial premises with regard to thermodynamic parameters // Izv. universities. Electronics. 2018. vol. 23. No. 2. P. 133–140. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-2-133-140.
11. Коченков Н. В. Энергосберегающие режимы систем кондиционирования. Ч. 1. Системы кондиционирования с адиабатным увлажнением воздуха: учеб.-метод. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 75 с.
12. Коченков Н. В. Руководство к практическим занятиям и лабораторным работам по дисциплине «Системы кондиционирования» Ч. 1. Уч.-метод. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 55 с.
13. Коченков Н. В., Кобышева Н. В., Ключева М. В. Энергосберегающие режимы в СКВ и характеристика климата — взаимосвязанные задачи. // Инженерные системы. СПб.: АВОК С-3, 2006. № 3. С. 48–52.

## References

1. Federal Law № 261-F3 dated November 23, 2009. On energy saving and increasing energy efficiency and on amendments to separate legislative acts of the Russian Federation. *Collection of laws of the Russian Federation*. 2009, No 48. Art. 5711. (in Russian)
2. Rymkevich A. A. System analysis of optimization of general exchange ventilation and air conditioning, St. Petersburg: AVOK North-West, 2003. p. 271. (in Russian)
3. Kochenkov N. V., Kochenkov V. N. Choice of criterial indicator and analysis of its target function in the problem of optimization of technological process of air treatment in air conditioning systems. *Bulletin of civil engineers*. 2016, No 4 (57). (in Russian)
4. Rymkevich A. A. Opportunities and prospects of quality estimation of ACS solution by quantitative indicators based on the system approach. *Engineering systems*. 2007. No 2. p. 16–24. (in Russian)
5. State standard 2.119–2013. Unified system for design documentation (USKD). Sketch design. (in Russian)
6. Popirien L. S. Mathematical modeling and optimization of thermal power plants. Moscow. Energy, 1978. 416 p. (in Russian)
7. Sotnikov A. G. Design and calculation of ventilation and air conditioning systems. Full set of requirements, source data and calculation information for CO, SPV, ACS, SGVS and SHS (In 2 volumes with continuation). Vol. 1, St. Petersburg, 2013. p. 423. (in Russian)
8. Abu Bakar N. N., Hassan M. Y., Abdullah H., Rahman H. A., Abdullah M. P., Hussin F., Bandi M. Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 44 (2015) 1–11. DOI: 10.1016/J. RSER. 2014.12.018.
9. Gvozdkov A. Modern solutions to improve the efficiency of air treatment in HVAC Systems. The 9th International Conference «Environmental Engineering». Selected Papers, Article number: enviro. 2014. 260 p.
10. Gavrilin V. A., Karakeyan V. I., Ryabyshenkov A. S. Evaluation of the efficiency of the air conditioning system of clean industrial premises with regard to thermodynamic parameters. *Izv. universities. Electronics*. 2018. vol. 23. No. 2. P. 133–140. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-2-133-140. (in Russian)
11. Kochenkov N. V. Energy-saving modes of air conditioning systems. Part 1. Air conditioning systems with adiabatic humidification of air: tutorial. — St. Petersburg.: ITMO University; IH&BT, 2015. p. 75. (in Russian)
12. Kochenkov N. V. Manual for practical classes and laboratory work on the discipline «Air conditioning systems» Part. 1. Tutorial-method, manual. ITMO University, 2016. 55 p. (in Russian)
13. Kochenkov N. V., Kobysheva N. V., Klueva M. V. Energy-saving modes in ACS and climate characterization — interrelated problems. *Engineering systems*. Saint-Petersburg: AVOK S-Z, 2006. No 3. pp. 48–52. (in Russian)



14. Malyavina E. G., Malikova O. Yu., Fam L. V. Probabilistic-statistical model of climate in estimation of energy consumption by air conditioning systems Springer, 2019. Cham 982. P. 69–77. DOI: org/10.1007/978-3-030-19756-8.7.
15. Samarin O. D. The probabilistic-statistical modeling of the external climate in the cooling period. // Magazine of Civil Engineering. 2017. №. 5. pp. 62–69. DOI: 10.18720/MCE. 73.6.
16. Chun Y. S., Zaiyi L. Is building energy simulation based on TMY representative: A comparative simulation study on doe reference buildings in Toronto with typical year and historical year type weather files. // Energy and Build. 211 109760. https:// DOI: org/10.1016/j. enbuild. 2020.109760.
17. Kim S, Zirkelbach D, Kunzel H M, Lee J H., Choi J. Development of test reference year using ISO 15927–4 and the influence of climatic parameters on building energy performance. // Build. and Envir. 2017. Vol. 114. P. 374–386. https:// DOI: org/10.1016/j. buildenv. 2016.12.037.
18. Коченков Н. В., Крупененков Н. Ф., Салман А. С., Антонова Т. С. Требования к информации о климате для целей проектирования систем кондиционирования // Вестник Международной академии холода. 2019. № 4. С. 15–25.
19. Салман А. С. Формализация информации о климате для г. Багдад // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2018. Т. 4. С. 98–100.
20. Wang R, Lu S, Li Q. Multi-criteria comprehensive study on predictive algorithm of hourly heating energy consumption for residential buildings. // Sustain Cities Soc. 2019:101623.
21. Westermann P, Evins R. Surrogate modelling for sustainable building design-A review. Energy Build 2019.
22. Yu. Yu, D. Woradechjumroen D., D. Yu. A review of fault detection and diagnosis methodologies on air handling units, Energy Build. 2014. Vol. 82. P. 550–562. DOI: 10.1016/J. ENBUILD. 2014.06.042.
14. Malyavina E. G., Malikova O. Yu., Fam L. V. Probabilistic-statistical model of climate in estimation of energy consumption by air conditioning systems Springer, 2019. Cham 982. P. 69–77. DOI: org/10.1007/978-3-030-19756-8.7.
15. Samarin O. D. The probabilistic-statistical modeling of the external climate in the cooling period. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 5. pp. 62–69. DOI: 10.18720/MCE. 73.6.
16. Chun Y. S., Zaiyi L. Is building energy simulation based on TMY representative: A comparative simulation study on doe reference buildings in Toronto with typical year and historical year type weather files. *Energy and Build.* 211 109760. https:// DOI: org/10.1016/j. enbuild. 2020.109760.
17. Kim S, Zirkelbach D, Kunzel H M, Lee J H., Choi J. Development of test reference year using ISO 15927–4 and the influence of climatic parameters on building energy performance. *Build. and Envir.* 2017. Vol. 114. P. 374–386. https:// DOI: org/10.1016/j. buildenv. 2016.12.037.
18. Kochenkov N. V., Krupenenkov N. F., Salman A. S., Antonova T. S. Requirements for climate information for the design of air conditioning systems. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2019. No 4. pp. 15–25. (in Russian)
19. Salman A. S. Formalization of climate information for c. Baghdad. *Almanac of young scientists of ITMO University*. 2018. Vol. 4. pp. 98–100. (in Russian)
20. Wang R, Lu S, Li Q. Multi-criteria comprehensive study on predictive algorithm of hourly heating energy consumption for residential buildings. *Sustain Cities Soc.* 2019:101623.
21. Westermann P, Evins R. Surrogate modelling for sustainable building design-A review. *Energy Build* 2019.
22. Yu. Yu, D. Woradechjumroen D., D. Yu. A review of fault detection and diagnosis methodologies on air handling units, *Energy Build.* 2014. Vol. 82. P. 550–562. DOI: 10.1016/J. ENBUILD. 2014.06.042.

### Сведения об авторах

#### Салман Ахмед Саадаллах Салман

Аспирант факультета энергетики и экотехнологий  
Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург,  
ул. Ломоносова, 9, ahsalman1976@gmail.com,  
ORCID: 0000-0002-0596-3813

#### Сулин Александр Борисович

Д. т. н., профессор факультета энергетики и экотехнологий  
Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург,  
ул. Ломоносова, 9, miconta@rambler.ru

#### Лысёв Владимир Иванович

К. т. н., инженер I кат. факультета энергетики  
и экотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-  
Петербург, ул. Ломоносова, 9, vilysev@corp.info.ru

#### Рябова Татьяна Владимировна

К. т. н., доцент факультета энергетики и экотехнологий  
Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург,  
ул. Ломоносова, 9, ryabova\_tatyana@itmo.ru

### Information about authors

#### Salman Ahmed Saadallah Salman

Graduate student of Faculty of Energy and  
Ecotechnology of ITMO University,  
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9,  
ahsalman1976@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0596-3813

#### Sulin Aleksandr B.

D. Sc., Professor of Faculty of Energy and Ecotechnology of  
ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg,  
Lomonosov str., 9, miconta@rambler.ru

#### Lysev Vladimir I.

Ph. D., Engineer of Faculty of Energy and Ecotechnology of  
ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg,  
Lomonosov str., 9, vilysev@corp.info.ru

#### Ryabova Tatyana V.

Ph. D., Associate Professor of Faculty of Energy and  
Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia,  
St. Petersburg, Lomonosov str., 9, ryabova\_tatyana@itmo.ru