

А.И. ДАНИЛУШКИН**И.А. ДАНИЛУШКИН**

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА УСТАНОВКИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

OPTIMIZATION OF ELECTROTECHNICAL POWER CONSUMPTION OF GAS COOLING SYSTEM COMPLEX

Рассматривается задача оптимального распределения нагрузки между электроприводами вентиляторов в многосекционной установке охлаждения газа по критерию минимума энергозатрат на охлаждение. Задача оптимизации решается на базе полученной аналитической модели для температуры газа на выходе установки охлаждения. Модель учитывает взаимное влияние режимов работы всех вентиляторов установки. Разработана методика решения задачи оптимального распределения нагрузки между электроприводами вентиляторов для линеаризованной модели процесса с помощью процедуры целочисленного программирования. Методика оптимизации учитывает индивидуальные характеристики аппаратов.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, моделирование, оптимизация, теплообмен, температура, регулирование, линейное программирование

Повышение эффективности функционирования всех звеньев газотранспортного комплекса на предприятиях Газпрома базируется на новейших достижениях научно-технического прогресса, связанных с использованием оптимальных технологий подготовки и транспортировки газа. Совершенствование газотранспортной системы предполагает, в частности, создание оптимальных систем управления установкой охлаждения газа с электроприводными вентиляторами, суммарная мощность которых составляет от 800 до 1500 кВт.

В технологической цепи комплексной подготовки газа к транспортировке эксплуатационные расходы в звене охлаждения газа на электропривод вентиляторов, капитальные затраты на оборудование парка аппаратов воздушного охлаждения, а также затраты энергии на создание необходимого давления в магистрали с помощью газотурбинного или электрического привода газового компрессора составляют главные статьи себестоимости. Одним из направлений работ по снижению эксплуатационных издержек за счёт уменьшения энергетической составляющей является оптимизация режимов работы установки охлаждения газа после компримирования [1–3]. Оптимизация режимов работы энергетического оборудо-

The problem of the optimal load distribution between electric drives of fans in a multi-section gas cooling unit is considered based on the minimum energy expenditure for cooling. The optimization problem is solved on the basis of the obtained analytical model for the gas temperature at the outlet of the cooling unit. The model takes into account the mutual influence of the operating modes of all fans of the installation. A technique for solving the problem of optimal load sharing between electric drives of fans for a linearized process model is developed using the procedure of integer programming. The optimization technique takes into account the individual characteristics of the devices.

Keywords: energy efficiency, modeling, optimization, heat exchange, temperature, regulation, linear programming

ования предусматривает минимизацию потребления электроэнергии, затрачиваемой на транспортировку газа, за счет выбора компромиссного варианта работы энергетического оборудования.

Повышение экономической эффективности технологического процесса транспортировки газа осуществляется за счет ужесточения требований к стабилизации технологических параметров процесса, в частности, температурного режима газа после компримирования. Допустимое отклонение температуры газа на выходе аппаратов воздушного охлаждения не должно превышать одного-двух градусов [4]. Соответственно возникают вопросы обеспечения необходимой точности регулирования температуры при условии минимизации энергозатрат на транспортировку газа. В связи с этим появляется необходимость в создании оптимальных алгоритмов и систем управления аппаратами воздушного охлаждения.

Типовое решение по охлаждению газа после компримирования представляет собой установку охлаждения газа из нескольких расположенных параллельно аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа [5, 6] (рис.1). Каждый аппарат представляет собой теплообменник с перекрёстным направлением потоков. Поток охлаждающего воздуха сквозь несколько

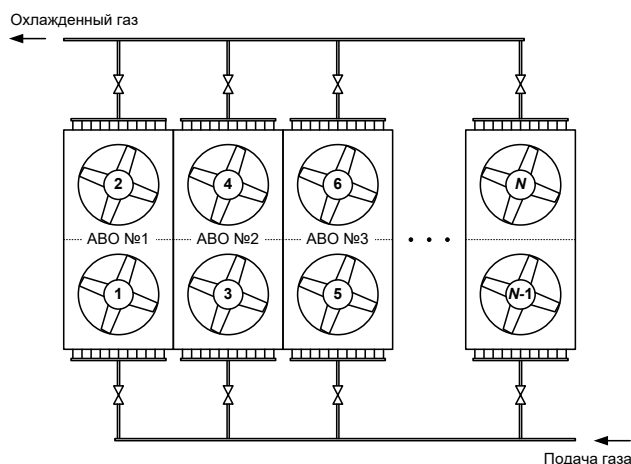


Рис.1. Типовая схема включения АВО в установке охлаждения газа

слоёв оребренных труб, по которым прокачивается охлаждаемый газ, создается за счёт работы вентиляторов. Каждый вентилятор включается независимо.

В процессе эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения эксплуатационные характеристики изменяются [7–9]. В связи с этим возникает необходимость выбора оптимального количества вентиляторов с учетом их индивидуальных эксплуатационных характеристик.

Возможность управления отдельными вентиляторами установки охлаждения позволяет говорить о необходимости поиска такой конфигурации включаемых аппаратов, чтобы требуемый отбор тепла обеспечивался с минимальным расходом электроэнергии. Эту задачу можно сформулировать в терминах теории математического программирования как задачу оптимального распределения взаимозаменяемых ресурсов [10].

Высокие скорости потока газа обуславливают турбулентный характер течения, а незначительная толщина стенки и высокая теплопроводность материала трубки позволяют пренебречь постоянной времени трубки и рассматривать процесс теплообмена между потоком воздуха и потоком газа, характеризую интенсивность теплообмена некоторым приведенным коэффициентом $\alpha(x, t)$ теплопередачи от газа к воздуху. Экспериментально доказано [7], что зависимость коэффициента от координаты x для каждого ряда трубок можно пренебречь, поэтому в качестве сосредоточенного управляющего воздействия рассматривается

эквивалентный коэффициент $\alpha(t)$ теплоотдачи от газа к воздуху в аппарате воздушного охлаждения, определяемый как функция температур воздуха и газа. Тогда уравнение теплообмена для каждого i -го блока в стационарном режиме принимает вид [11]:

$$v_g \frac{d\theta_{gi}(x)}{dx} = \beta \cdot (\theta_B(x) - \theta_{gi}(x)), \quad (1)$$

где $\theta_{gi}(x)$ – средняя по сечению потока температура газа; $\theta_B(x)$ – температура воздуха на входе блока, одинаковая для всех блоков установки; x – аксиальная координата газового потока; v_g – скорость газового потока; β – приведенный коэффициент теплообмена между потоком газа и воздухом, учитывающий геометрию поверхностей теплообмена между потоками воздуха и газа.

Решение уравнения (1) с учетом начальных условий для каждого блока имеет вид

$$\theta_{gi}(x) = \theta_{gi0}(0) \cdot e^{-\frac{\beta x}{v_g}} - \frac{\beta}{v_g} \theta_B \left(1 - e^{-\frac{\beta x}{v_g}} \right). \quad (2)$$

Для анализа принято, что блоки с нечетными номерами располагаются в первом ряду, с четными – во втором ряду установки. Температура газа на входе каждого аппарата соответствует температуре на входе его первого блока, а температура газа на выходе каждого аппарата соответствует температуре на выходе второго блока. С учетом прохождения через $(i-1)$ -й блок первого ряда температура $\theta_{gi}(x)$ газа на выходе i -х (четных) блоков АВО описывается выражением

$$\begin{aligned} \theta_{gi} = & \theta_{gi0} \cdot \exp \left[- \left(\beta_{i-1,0} + \sum_{j=1}^N b_{i-1,j} h_j \right) \frac{L}{v} - \left(\beta_{i0} + \sum_{j=1}^N b_{ij} h_j \right) \frac{L}{v_g} \right] + \\ & + \theta_B \cdot \left(1 - \exp \left[- \left(\beta_{i-1,0} + \sum_{j=1}^N b_{i-1,j} h_j \right) \frac{L}{v} - \left(\beta_{i0} + \sum_{j=1}^N b_{ij} h_j \right) \frac{L}{v_g} \right] \right), \quad i \in \{2, 4, \dots, N\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь θ_{gi0} – температура газа на входе установки охлаждения; N – количество блоков в установке; $N/2$ –

количество аппаратов в установке воздушного охлаждения; L – длина оребренных труб блока АВО;

v – скорость потока газа; $\beta_i = \beta_{i0} + \sum_{j=1}^N b_{ij} h_j$ – приведенный коэффициент конвективного теплообмена для i -го блока установки; β_{i0} – значение коэффициента i -го блока при выключенном вентиляторе; b_{ij} – коэффициенты, учитывающие влияние остальных блоков установки на коэффициент β_i , $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$; h_i – показатель режима работы i -го блока (включен/выключен), $h_i = \overline{0, 1}$.

Температура θ_{out} газа на выходе установок воздушного охлаждения

$$\theta_{out} = \frac{1}{N/2} \sum_{k=1}^{N/2} \theta_{2,k}. \quad (4)$$

Математическая модель (1) – (2) процесса теплообмена в установке охлаждения газа может быть линеаризована с помощью разложения экспоненты в ряд Тейлора [12]. После несложных преобразований получим для температуры газа на выходе установки воздушного охлаждения:

$$\theta_{out} = \theta_{gi0} + (\theta_B - \theta_{gi0}) \cdot \frac{L}{v} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \left(\sum_{i=1}^N \beta_{i0} + \sum_{j=1}^N h_j \sum_{i=1}^N b_{ij} \right). \quad (5)$$

Выражение (5) используется при формулировке условия для решения задачи бинарного целочисленного линейного программирования [13–15]. В качестве варьируемых переменных выступают переменные h_i – признаки режима работы вентилятора i -го блока, которые принимают только два значения: 0 и 1.

Задача оптимального распределения нагрузки для модели (3), (4) может быть сформулирована следующим образом. Требуется обеспечить минимальный расход электроэнергии для охлаждения газа с учётом энергетической эффективности каждого блока установки охлаждения газа при условии, что температура газа на выходе θ_{out} не превышает заданную θ_{given} . В тер-

минах теории математического программирования такая постановка может быть записана как

$$\min \left(\sum_{j=1}^N h_j \mid \mathbf{A}\mathbf{h} \leq \mathbf{C}, \quad h_j = \overline{0, 1}, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\} \right), \quad (6)$$

где ограничения заданы в векторном виде: $\mathbf{A}\mathbf{h} \leq \mathbf{C}$, а матрицы коэффициентов принимают следующие значения:

$$\mathbf{A} = (\theta_B - g_{inp}) \cdot \frac{L}{V_g} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \left[\sum_{i=1}^N b_{i1} \quad \sum_{i=1}^N b_{i2} \quad \sum_{i=1}^N b_{i3} \quad \dots \quad \sum_{i=1}^N b_{iN} \right]_{1 \times N}, \quad (7)$$

$$\mathbf{h} = [h_j]_{N \times 1}, \quad (8)$$

$$\mathbf{C} = \left[\theta_{given} - g_{inp} - (\theta_B - \theta_{gi0}) \cdot \frac{L}{V_g} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \sum_{i=1}^N b_{i0} \right]_{1 \times 1}. \quad (9)$$

В такой постановке задача решается известными методами решения задач целочисленного программирования [13].

В качестве метода для решения бинарной задачи линейного программирования (5), (6)–(9) используется алгоритм, предложенный английскими математиками Лэнд и Дойг [14, 15].

Для того чтобы воспользоваться предложенным алгоритмом, необходимо привести выражение (6) к виду

$$\min \left(\sum_{j=1}^N w_j h_j \mid \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{h} \geq \tilde{\mathbf{C}}, \quad h_j \in \{0, 1\}, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\} \right), \quad (10)$$

где w_j – весовые коэффициенты, которые в данном случае имеют смысл мощности энергопотребления электропривода вентилятора j -го блока.

С этой целью обе части неравенства (6) умножаются на «-1». Умножая \mathbf{A} и \mathbf{C} , получим

$$\tilde{\mathbf{A}} = -\mathbf{A} = (g_{inp} - \theta_B) \cdot \frac{L}{v} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \left[\sum_{i=1}^N b_{i1} \quad \sum_{i=1}^N b_{i2} \quad \sum_{i=1}^N b_{i3} \quad \dots \quad \sum_{i=1}^N b_{iN} \right]_{1 \times N}; \quad (11)$$

$$\tilde{\mathbf{C}} = -\mathbf{C} = \left[g_{inp} - \theta_{given} + (\theta_B - g_{inp}) \cdot \frac{L}{v} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \sum_{i=1}^N b_{i0} \right]_{1 \times 1}. \quad (12)$$

В такой постановке задача (6)–(9) полностью соответствует исходной постановке задачи алгоритма Лэнд и Дойг. Алгоритм с учетом принятых обозначений описывается следующей последовательностью действий.

1. Выполняется ввод исходных данных.
2. Снимается ограничение на целочисленность переменных и решается задача линейного программирования:

$$\min \left(\sum_{j=1}^N w_j h_j \mid \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{h} \geq \tilde{\mathbf{C}}, \quad 0 \leq h_j \leq 1, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\} \right). \quad (13)$$

3. Если полученное решение \mathbf{h}^1 удовлетворяет условию целочисленности, то задача решена.

4. Если решение не является целочисленным, выбирается компонента вектора \mathbf{h} с индексом 1, или выбирается такая нецелочисленная компонента решения \mathbf{h}^1 , которая имеет самое близкое значение к границе своей области определения. Так как в рассматриваемой ситуации все компоненты h_j имеют область определения $[0, 1]$, выбирается нецелочисленная компонента, величина которой ближе всего к 0 или к 1:

$$r1 = j: \quad \min(h_j^1, 1 - h_j^1) \rightarrow \min, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\}. \quad (14)$$

5. Выбранная нецелочисленная компонента h_{r1}^1 фиксируется, и исходная задача (10) делится на две подзадачи:

– при $h_{r1}^1 = 0$

$$\min \left(\sum_{j=1}^N w_j h_j \begin{cases} \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{h} \geq \tilde{\mathbf{C}}, \\ 0 \leq h_j \leq 1, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{r1\}, \\ h_{r1} = 0 \end{cases} \right); \quad (15)$$

$$J_1 = 100,51, \quad \mathbf{h}^1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0,13 \\ 1 \\ 0,13 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

– при $h_{r1}^1 = 1$

$$\min \left(\sum_{j=1}^N w_j h_j \begin{cases} \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{h} \geq \tilde{\mathbf{C}}, \\ 0 \leq h_j \leq 1, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{r1\}, \\ h_{r1} = 1 \end{cases} \right). \quad (16)$$

Следовательно, размерность каждой из задач уменьшается на единицу.

6. Результатом решения задач (15), (16) являются значения \mathbf{h}^2 и \mathbf{h}^3 . Для дальнейшего поиска принимается тот из результатов, у которого сумма $\sum_{j=1}^N w_j h_j^k$ минимальна.

7. Если полученный результат \mathbf{h}^k является целочисленным, поиск заканчивается.

В качестве примера рассмотрим задачу оптимального распределения нагрузки в установке охлаждения газа, включающей в себя три аппарата воздушного охлаждения с двумя вентиляторами каждый (рис. 2).

Пусть для режима работы установки, характеризующегося следующими параметрами (табл. 1), известны коэффициенты взаимного влияния блоков β_{ij} , $i \in \{1, 2, \dots, N\}$, $j \in \{0, 1, 2, \dots, N\}$, $N=6$ (табл. 2). Потребляемая мощность двигателей вентиляторов приведена в табл. 3.

Требуется из числа имеющихся аппаратов с известными энергетическими характеристиками выбрать количество и оптимальное сочетание вентиляторов установки, которые обеспечат минимальный расход электроэнергии для поддержания температуры газа на выходе из установки охлаждения на уровне $\theta = 34$ °С, если температура газа на входе равна $g_{inp} = 42$ °С, а температура воздуха $T = 0$ °С.

Рассчитаем входные данные алгоритма.

Матрица $\tilde{\mathbf{A}}$, согласно выражению (8)

$$\tilde{\mathbf{A}} = -\mathbf{A} = (\theta_{g0} - \theta_B) \cdot \frac{L}{V_g} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \left[\sum_{i=1}^N b_{i1} \quad \sum_{i=1}^N b_{i2} \quad \sum_{i=1}^N b_{i3} \quad \dots \quad \sum_{i=1}^N b_{iN} \right]_{1 \times N},$$

принимает значения

$$\tilde{\mathbf{A}} = 28 \cdot [0,06928 \quad 0,0702 \quad 0,06887 \quad 0,06894 \quad 0,06928 \quad 0,06979], \\ \tilde{\mathbf{A}} = [1,940 \quad 1,966 \quad 1,928 \quad 1,930 \quad 1,940 \quad 1,954].$$

Матрица $\tilde{\mathbf{C}}$, согласно выражению (10)

$$\tilde{\mathbf{C}} = -\mathbf{C} = \left[g_{inp} - \theta_{given} + (\theta_B - g_{inp}) \cdot \frac{L}{V_g} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \sum_{i=1}^N b_{i0} \right]_{1 \times 1},$$

принимает значения $\tilde{\mathbf{C}} = [6,32]$.

В результате решения релаксированной задачи с исходными данными электроприводов вентиляторов (см. табл. 3) симплекс-методом получаем решение

Решение не является целочисленным. Согласно алгоритму (шаг 5), выбираем для фиксации компоненту вектора \mathbf{h} с индексом 1. Компонент с граничными значениями несколько, поэтому начинаем с первого по порядку:

$$\mathbf{R} = \{1\}.$$

Решаем две подзадачи линейного программирования путём варьирования пяти переменных h_j , $j \in \{2, 3, 4, 5, 6\}$. Для этого модифицируем формулу расчёта целевой функции:

$$J_{21} = 0 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6, \quad J_{22} = 1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6,$$

а также ограничение:

$$\tilde{\mathbf{A}}^1 = [1,966 \quad 1,928 \quad 1,930 \quad 1,940 \quad 1,954], \\ \tilde{\mathbf{C}}^1 = [6,32 - \tilde{a}_1 \cdot h_1] = [6,32 - 1,940 \cdot h_1].$$

В результате после итерационного решения подзадач найдено целочисленное решение при $h_4 = 1$:

$$J_{final} = 132,50, \quad \mathbf{h}^{final} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, решение задачи целочисленно-го программирования для параметров, приведенных в табл. 2, 3, дает однозначный результат, согласно которому оптимальное сочетание будет иметь место при работе АВО № 1, № 3, № 4, № 6. Такое сочетание работающих аппаратов, учитывающее индивидуальные коэффициенты эффективности, обеспечивает минимальный суточный расход электроэнергии.

Выводы. На газоперекачивающих станциях магистральной газопроводной системы количество аппаратов воздушного охлаждения составляет от 18 до 24 при единичной мощности электроприводного вентилятора от 37 до 75 кВт. Предлагаемый подход позволит существенно сократить расход электроэнергии по сравнению с обычной практикой включения вентиляторов в предположении равенства коэффициентов эффективности аппаратов воздушного охлаждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поршаков Б.П., Козаченко А.Н., Никишин В.И. Пути и способы развития энергосберегающих технологий в трубопроводном транспорте газов // Изв. вузов. Нефть и газ. 2000. № 3. С. 57–63.
2. Махов О.Н., Субботин В.И., Ярунин С.Н., Ярунина Н.Н. Основные направления энергосбережения в газоперекачивающей отрасли // Вестник ИГЭУ. 2005. №1. С. 48–50.

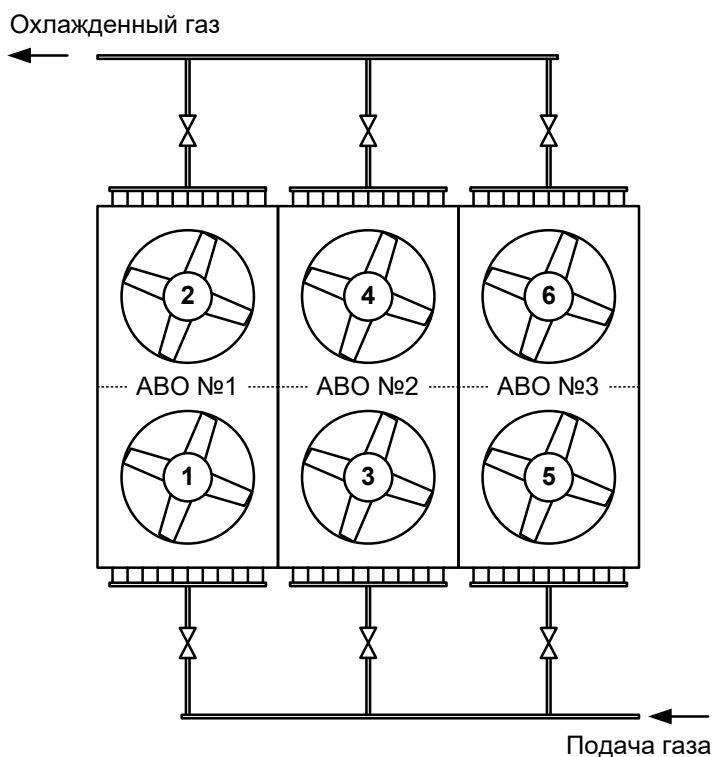


Рис. 2. Схема установки охлаждения газа для иллюстрации расчёта

Таблица 1

Исходные данные для расчёта

| Параметр | Обозначение | Ед. изм. | Значение |
|----------------------------------|-------------|--------------------------|----------|
| Избыточное давление на входе АВО | P_a | кПа | 64,9 |
| Расход газа через один АВО | q_{ABO} | тыс. н.м ³ /ч | 185,8 |
| Длина участка теплообмена АВО | L_{ABO} | м | 12 |
| Количество труб АВО | $N_{мп}$ | шт. | 540 |
| Внутренний диаметр трубы АВО | $d_{мп}$ | м | 0,025 |

Таблица 2

Значения коэффициентов взаимного влияния блоков АВО

| № блока | b_{i0} | b_{i1} | b_{i2} | b_{i3} | b_{i4} | b_{i5} | b_{i6} |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0,01 | 0,07 | -0,00042 | -0,00031 | -0,00001 | 0 | 0 |
| 2 | 0,0098 | -0,00032 | 0,071 | 0 | -0,00029 | 0 | 0 |
| 3 | 0,0103 | -0,00035 | -0,00007 | 0,07 | -0,00039 | -0,00031 | -0,00009 |
| 4 | 0,0097 | -0,00005 | -0,00031 | -0,00037 | 0,07 | -0,00003 | -0,00034 |
| 5 | 0,0096 | 0 | 0 | -0,00039 | -0,00002 | 0,0699 | -0,00028 |
| 6 | 0,0106 | 0 | 0 | -0,00006 | -0,00035 | -0,00028 | 0,0705 |

Таблица 3

Потребляемая мощность двигателей вентиляторов блоков

| № блока | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| Мощность, кВт | 26,8 | 43,8 | 33,0 | 43,1 | 46,2 | 29,6 |

3. Данилушкин А.И., Крайнов В.Г., Мигачева Л.А. Оптимизация стационарного распределения нагрузки аппаратов воздушного охлаждения газа // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. 2011. Вып. №3(31). С. 159–165.
4. Бикчентай Р. Н., Козаченко А.Н., Поршаков Б.П. Влияние температуры транспортируемого газа на топливно-энергетические затраты КС // Газовая промышленность. 1991. №2. С. 19–21.
5. Меньшов Б.Г., Ершов М.С., Яризов А.Д. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности М.: Недра, 2000. 487 с.
6. Белоусенко И.В., Шварц Г.Р., Великий С.Н. и др // Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике газовой промышленности. М.: Недра, 2002. 300 с.
7. Абакумов А.М., Алимов С.В., Мигачева Л.А. Аналитическое и экспериментальное исследование стационарных режимов работы установок охлаждения газа компрессорных станций магистральных газопроводов // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. «Технические науки». 2010. №7. С. 113–117.
8. Габдрахманов А., Гаррис Н. Влияние эксплуатационного загрязнения на тепловые характеристики аппаратов воздушного охлаждения газа // Нефтегазовое дело. Уфа. 2003. С. 1–6.
9. Микаэлян Э.А. Топливо-энергетические затраты в магистральном транспорте газа // Газовая промышленность. 2002. № 5. С. 82–85.
10. Лутманов С.В. Линейные задачи оптимизации Ч.1. Линейное программирование. Пермь: Перм. ун-т, 2004. 128 с.
11. Алимов С.В., Данилушкин И.А., Мосин В. Н. Моделирование установившихся процессов теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения газа // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. «Технические науки». 2010. № 2 (26). С. 178–186.
12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1974. 832 с.
13. Ковалёв М.М. Дискретная оптимизация (целочисленное программирование). Минск: Изд-во БГУ, 1977. 192 с.
14. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации: учеб. пособие. 2-е изд. М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2005. 368 с.
15. Land A.H., Doig A.G. An automatic method of solving discrete programming problems // "Econometrica". 1960. V.38, №3. Pp. 497–520.

Об авторах:

ДАНИЛУШКИН Александр Иванович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. 89272014736
E-mail: aidanilushkin@mail.ru

DANILUSHKIN Alexander I.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Energy Supply of Industrial Enterprises Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. +79272014736
E-mail: aidanilushkin@mail.ru

ДАНИЛУШКИН Иван Александрович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматического управления в технических системах Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. 89277514177
E-mail: idanilushkin@mail.ru

DANILUSHKIN Ivan A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Automatic Control in Technical Systems Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. +79277514177
E-mail: idanilushkin@mail.ru

Для цитирования: Данилушкин А.И., Данилушкин И.А. Оптимизация электропотребления электротехнического комплекса установки охлаждения газа // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.124-129. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.21.

For citation: Danilushkin A.I., Danilushkin I.A. Optimization of electrotechnical power consumption of gas cooling system complex // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 124-129. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.21.