УДК 519.642.7:681.5.015.24

СИНГУЛЯРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В ЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ С МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Иманалиев З.К., *к.ф.-м.н., проф. каф. «Прикладная математика», КГТУ*
Баракова Ж.Т., *к.т.н., доц., заф. каф. «Информационные системы и технологии в телекоммуникациях», КГТУ, Janna05_05@mail.ru*
Кадыров Ч.А., *к.т.н, доц., декан фак. «Энергетический», КГТУ*

В статье рассмотрен способ решения задачи оптимального управления разнотемповыми системами при минимуме функционала типа нормы, который оценивает энергии управляющего воздействия. Рассмотренный способ основан на совместного использования идеи проблемы моментов и метода разделения движений. Исходная задача разделяется на две задачи оптимального управления, которые имеют меньшие размерности. Такое разделение переменных сокращает объём вычислительных процедур при решении конкретных практических задач.

Ключевые слова: сингулярные возмущения, разнотемповые системы, функционал, малый параметр, проблемы моментов, разделение движений, медленные и быстрые движения, управление, аналитическая форма.

SINGULAR PERTURBATIONS IN LINEAR PROBLEM OF CONTROL WITH MINIMUM ENERGY

Imanaliev Z.K., Barakova Z.T., Kadyrov Ch.A.

In the article describes the method of solving the problem of optimal control multirate systems with a minimum of functional type of rules which assesses the energy control action. The considered method is based on the idea of sharing the moment problem and the method of separation of motions. The original problem is divided into two optimal control problems which have smaller dimensions. This separation of variables reduces the amount of computational procedures for solving specific practical problems.

Keywords: singular perturbations, multirate systems, functional, small parameter, the moment problem, separation movements, slow and fast motions, control, analytical form.

ВВЕДЕНИЕ. Решение задач управления движениями сложных систем и оптимизации встречает существенные аналитические и вычислительные трудности, которые связаны с необходимостью решения краевых задач для многомерных систем дифференциальных уравнений (иногда с недостаточными краевыми условиями), а также с практической реализацией «точных» законов управления в виде алгоритмов при помощи вычислительных средств в реальном масштабе времени. Поэтому оказывается актуальной разработка эффективных приближенных аналитических и полуаналитических методов, допускающих существенное упрощение решения задачи.

Разработка таких методов как правило, основывается на сочетании методов теории возмущений с методами оптимального управления (принцип максимума, динамическое программирование и т.д.).

В данной работе предложен новый способ решения задачи оптимального управления разнотемповыми системами при минимуме функционала типа нормы, который оценивает энергии управляющего воздействия. Предложенный способ основан на совместного использования идеи проблемы моментов и метода разделения движений.

Рассмотрим задачу оптимального управления, включающую условие минимума функционала

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_1} u'(t)u(t)dt \tag{1}$$

на траекториях системы

$$\dot{y} = A(t)y + B(t)u, \tag{2}$$

$$y(t_0) = y^0, \quad y(t_1) = y^1 \tag{3}$$

где $y = \begin{pmatrix} x \\ z \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} A_1(t) & A_1(t) \\ \dfrac{A_1(t)}{\mu} & \dfrac{A_1(t)}{\mu} \end{pmatrix} \qquad B = \begin{pmatrix} B_1(t) \\ \dfrac{B_2(t)}{\mu} \end{pmatrix},$

μ - малый положительный параметр, $x \in R^n, \quad z \in R^m, \quad u \in R^r.$

Считается, что система (2) вполне управляема. Функционал (1) можно рассматривать как квадрат нормы функции u(t) в пространстве $L_2[t_0, t_1]$. Так как норма $\|u\|_{L_2[t_0,t_1]}$в $L_2[t_0, t_1]$. достигает своего минимума со своим квадратом, то нам нужно выбрать среди допустимых решений задачи об управлении (задача о переводе системы (2) из заданной начальной точки (t_0, y^0) в конечную точку (t_1, y^1) такое решение, которое имеет минимальную норму в $L_2[t_0, t_1]$. Такое решение (с минимальной нормой) существует, если компоненты импульсной переходной вектор функции линейно независимы [1]. Это условие выполняется, если система вполне управляема [1], а по предположению система (2) вполне управляема.

Как показано в [6], что систему (2) можно заменить эквивалентной системой, у которой разделены медленные и быстрые составляющие вектора состояния:

$$\dot{\tilde{x}} = \tilde{A}_1(t)\tilde{x} + \tilde{B}_1(t)u, \tag{4}$$

$$\mu\dot{\tilde{z}} = \tilde{A}_4(t)\tilde{z} + \tilde{B}_2(t)u,$$

где $\tilde{x} = x + \mu Nz, \quad \tilde{z} = z - Hx,$

$\tilde{A}_1 = A_1 + A_2 H, \quad \tilde{A}_4 = A_4 - \mu H A_2, \quad \tilde{B}_1 = B_1 + N\tilde{B}_2, \qquad \tilde{B}_2 = B_2 - \mu H B_1,$

матрицы $\mathrm{H} = \mathrm{H}(t, \mu)$, $\mathrm{N} = \mathrm{N}(T, \mu)$ определяется из уравнения

$$\begin{aligned} \mu\dot{H} + \mu H\tilde{A}_1 &= A_3 + A_4 H, \\ \mu\dot{N} - \mu\tilde{A}_1 N &= -A_2 - N\tilde{A}_4. \end{aligned} \tag{5}$$

Граничные условия системы (4) записываются в форме:

$\tilde{x}(t_0) = \tilde{x}^0, \quad \tilde{z}(t_0) = \tilde{z}^0,$

$\tilde{x}(t_1) = \tilde{x}^1, \quad \tilde{z}(t_1) = \tilde{z}^1,$

где $$z^i = z^i - H(t_i, \mu)x^i, \quad \tilde{x}^i = x^i + \mu N(t_i, \mu)\tilde{z}^i, \quad i = 0;1. \tag{6}$$

При замене исходную систему (2) эквивалентной системой (4) предполагается, что матрицы A_0, A_4 -устойчивы и при достаточно малых значений параметра μ собственные значения матрицы $\tilde{A}_1$ и $\tilde{A}_4$ были также отрицательными и близкими к собственным значениям матриц A_0, A_4.

Эти предположения выполняются, если выполняются условия теоремы, доказанной в [7]. А система (4) состоит из двух подсистем, которые связаны только по управлению. Теперь сформулируем задачу об управлении с минимальной нормой для системы (4) следующим образом: среди всех допустимых управлений требуется найти управление такое, которое доставляет минимум функционалу (1) при ограничениях (4)-(6). Назовем эту задачу возмущенной и обозначим ее символом P_μ.

Обращение в нуль параметра в системе (4) качественно изменяет структуры системы и её порядок. При μ = 0 из (4) получаем

$$\dot{\bar{x}} = A_0(t)x + B_0(t)\bar{u}, \quad \bar{x}(t_0) = x^0, \quad \bar{x}(t_1) = x^1 \tag{7}$$
$$\bar{z} = -A_4^{-1}(t)A_3(t)x(t) - A_4^{-1}(t)B_2(t)\bar{u}.$$

Систему (7) называют порождающей системой [5]. Задачу (1), (7) будем называть невозмущенной (предельной) по отношению к задаче P_μ обозначим её через $P_{0.}$.

Второе уравнение системы (7) не является дифференциальным и заданные граничные условия для функции z будут лишними. Поведение системы (2) или (4) в окрестности граничных точек существенно отличается от поведения порождающей системы (7).

В этом случае интерес представляет следующий вопрос: будет ли предел решения задачи P_μ является решением задачи управления меньшей размерности, которую мы называли предельной или невозмущенной задачей $P_{0.}$?

Следует заметить, что система (4) образуется через матрицы $H, N,$ которые получаются из уравнения (5) в виде степенных рядов относительно малого параметра μ. Эти ряды сходятся равномерно. Назовем систему асимптотической (с точностью $O(\mu^{k+1})$ по отношению к системе (4), если её коэффициенты образованы через матричных полиномов $H_k(t,\mu), N_k(t,\mu)$ по μ степени k. Такая система аппроксимирует систему (2) с точностью порядка малости $O(\mu^{k+1})$.

Рассмотрим систему

$$\dot{\bar{x}} = A_0(t)\bar{x} + B_0(t)u,$$
$$\mu\dot{\tilde{z}} = A_4(t_0)\tilde{z} + B_2(t_0)u. \tag{8}$$

Эта система аппроксимирует систему (2) с точностью порядка μ, т.е. она является асимптотической с точностью $O(\mu)$.

Система (8) получается из (4) при следующих приближениях:

$$H(t),\mu \approx H_0(t) = -A_4^{-1}(t)A_3(t), \quad N(t,\mu) \approx N_0(t) = -A_2\ (t)A_4^{-1}(t),$$
$$\tilde{A}_1(t,\mu) \approx A_0(t) = A_1(t) - A_2(t)A_4^{-1}(t)A_3(t), \quad \tilde{B}_1(t,\mu) \approx B_0(t) = B_1(t) - A_2(t)A_4^{-1}(t)B_2(t),$$
$$\tilde{A}_4(\tau\mu + t) \approx A_4(t_*), \quad \tilde{B}_2(t_* + \tau\mu) \approx B_2(t_*), \quad \tilde{z}\ = \bar{z} + A_4^{-1}(t\ )A_3(t)\bar{x},$$
$$\tau = \frac{t - t_*}{\mu} \ \text{ - растянутое время }, \quad 0 \le \tau \le \tau_1 < +\infty, \quad t^* \in [t_0, t_1]$$

Заметим, что системы (7) и (8) отличаются только вторыми уравнениями. Поэтому здесь решение задачи P_μ построим для системы (8). Поправка к первому приближению не представляет трудности, т.е. все изложенные процедуры для системы (8) аналогично повторяется для высших приближений. Число слагаемых, образующие матричных полиномов H_k, N_k на алгоритм решения задачи P_μ ссущественных изменений не оказывают. Следует отметить, что быстрая подсистема рассматривается на большом промежутке времени, поэтому коэффициенты этой подсистемы считаются медленно меняющимися функциями [5].

Под решением возмущенной задачи P_μ следует понимать оптимальные траектории $x^0(t,\mu),\ \ \tilde{z}(t,\mu)$, управление $u^0(t,\mu)$ и минимальное значение J_μ^0.

Подобные задачи рассмотрены в работах [2,3]. Здесь в отличие от указанных работ для исследуемых систем заданы краевые условия. Иначе говоря, эти системы называются системы с закрепленными конечными состояниями. При решении задачи P_μ и P_0 будет использован метод моментов.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ P_μ. Решения уравнения из (8) можно представить в виде:

$$\bar{x}_0(t) = \Phi(t,t_0)x^0 + \int_{t_0}^{t} \Phi(t,s)B_0(s)u(s)ds, \tag{9}$$

$$\tilde{z}_0(t,\mu) = e^{A_4(t_*)\left(\frac{t-t}{\mu}\right)}\tilde{z}^0 + \frac{1}{\mu}\int_{t_0}^{t} e^{A_4(t_*)\left(\frac{t-s}{\mu}\right)} B_2(t)u(s)ds, \tag{10}$$

где $\Phi(t,t_0)$ - переходная матрица медленной подсистемы (8).

Решим задачу P_0. В силу соотношения (9) ограничение для медленной подсистемы $x(t_1) = x^1$ приводит к тому, что искомое управление $\bar{u} = \bar{u}^*(t)$ должно удовлетворять условию

$$\int_{t_0}^{t_1} \Phi(t_1,t)B_0(t)u(t)dt = a_1, \tag{11}$$

где a_1-вектор, определяемый формулой $a_1 = x^1 - \Phi(t_1,t_0)x^0$. Управление $\bar{u} = \bar{u}^*(t)$, удовлетворяющее моментное соотношение (11) и доставляющее минимум функционалу (1) определяется формулой [1]:

$$\bar{u}(t) = B_0'(t)\Phi'(t_1,t)W^{-1}(t_1,t_0)\left(x^1 - \Phi(t_1,t_0)x^0\right), \tag{12}$$

где
$$W(t_1,t_0) = \int_{t_0}^{t_1} \Phi(t_1,t)B_0(t)B_0'(t)\Phi'(t_1,t)dt.$$

Тогда оптимальные траектории $\bar{x}^*(t)$, $\tilde{z}^*(t)$ порождающей системы (7) соответствующие управлению $\bar{u}^*(t)$ записываются в виде:

$$\bar{x}^*(t) = \Phi(t,t_0)x^0 + \int_{t_0}^{t} \Phi(t,s)B_0(s)\bar{u}^*(s)ds, \tag{13}$$

$$\tilde{z}^* = -A_4^{-1}(t)B_2(t)\bar{u}^*(t), \tag{14}$$

где $\tilde{z}^* = \tilde{z}^*(t) + A_4^{-1}(t)A_3(t)x^*(t)$, $\bar{u}^*(t)$ определяется формулой (12). При $t = t_0$, $t = t_1$ из (14) получим

$$\tilde{z}^*(t_0) = -A_4^{-1}(t_0)B_2(t_0)\bar{u}^*(t_0), \quad \tilde{z}^*(t_1) = -A_4^{-1}(t_1)B_2(t_1)\bar{u}^*(t_1). \tag{15}$$

Как было отмечено выше, что мы должны иметь такое решение задачи P_μ которое при $\mu \to 0$ переходит в решение задачи P_0. В силу соотношений (10), (14) и (15) разность векторов $\tilde{z}(t,\mu) - z^*(t)$ определяет следующую формулу:

$$\tilde{z}(t,\mu) = e^{A_4(t_*)\left(\frac{t-t_0}{\mu}\right)}\left(\tilde{z}^0 + A_4^{-1}(t_0)B_2(t_0)\bar{u}^*(t)\right) - A_4^{-1}(t)B_2(t)\bar{u}^*(t) + \frac{1}{\mu}\int_{t_0}^{t} e^{A_4(t_*)\left(\frac{t-s}{\mu}\right)} B_2(t)u(s)ds, \tag{16}$$

Для задачи P_μ определим управление следующим образом:

$$u_0(t) = \begin{cases} \bar{u}^*(t), & t_0 \le t \le t_1, \\ V\left(\dfrac{t_1 - t}{\mu}\right), & 0 \le \dfrac{t_1 - t}{\mu} \le \dfrac{t_1 - t_1}{\mu} < +\infty, \end{cases} \tag{17}$$

где $V\left(\dfrac{t_1 - t}{\mu}\right)$- пограничная функция, которая имеет экспоненциальный характер убывания. Управление $u^0(t) = u^*(t)$, имеющее минимальную норму и переводящее медленную подсистему из начального состояния $x(t_0) = x^0$ в конечное состояние $x(t_1) = x^1$ нам уже известно. Теперь остается построить $V\left(\frac{t_1 - t}{\mu}\right)$. При $t = t_1$ с учетом (17) из (1), (16) получим:

$$a_2 = \int_0^{+\infty} e^{A_4(t_1)\lambda} B_2(t_1) V(\lambda) d\lambda, \tag{18}$$

$$\int_0^{+\infty} V^2(\lambda) d\lambda \to \min \tag{19}$$

где

$$a_2 = z^1 - e^{A_4(t_0)\tau_1}\left(\tilde{z}^0 + A_4^{-1}(t_0)\bar{u}^*(t_0)\right) + A_4^{-1}(t_1) B_2(t_1)\bar{u}^*(t_1), \quad \tau_1 = \frac{t_1 - t_0}{\mu}. \tag{20}$$

Решение задачи (18), (19) согласно проблемы моментов [2] записывается в виде:

$$V(\lambda) = B_2'(t_1) e^{A_4'(t_*)\lambda} W^{-1} a_1, \tag{21}$$

где $W_* = \int_0^{+\infty} e^{A_4(t_*)\lambda} B_2(t_1) B_2'(t_1) e^{A_4'(t_*)\lambda} d\lambda, \quad \lambda = \frac{t_1 - t}{\mu}.$

Управление $u_0(t) = V(\lambda)$ переводит быструю подсистему из начального состояния $\tilde{z}(t_0) = \tilde{z}^0$ в конечное состояние $\tilde{z}(t_1) = \tilde{z}^1$, имеют минимальную норму и при $\lambda \to +\infty$ $(\mu \to 0)$ стремится к нулю. С учетом (21), из (16) будем иметь:

$$\begin{aligned} \tilde{z}_0(t,\mu) &= e^{A_4(t_0)\tau_1}\left(\tilde{z}^0 + A_4^{-1}(t_0) B_2(t_0)\bar{u}^*(t_0)\right) - A_4^{-1}(t) B_2(t)\bar{u}^*(t) + \\ &+ W(\sigma,\sigma_0)\cdot e^{-A_4'(t_1)\sigma}\cdot W_*^{-1}\left(\tilde{z}^1 - e^{A_4(t_0)\tau_1}\left(\tilde{z}^0 + A_4^{-1}(t_0) B_2(t_0)\bar{u}^*(t_0) + A_4^{-1}(t_1) B_2(t_1)\bar{u}^*(t_1)\right)\right), \end{aligned} \tag{22}$$

где $W(\sigma,\sigma_0) = \int_{\sigma_0}^{\sigma} e^{-A_4(t_*)(\nu-\sigma)} B_2(t_1) B_2'(t_1) e^{-A_4'(t_*)(\nu-\sigma)} d\nu,$

$$\sigma = -\lambda = \frac{t - t_1}{\mu}, \quad \tau = \frac{t - t_0}{\mu}, \quad \sigma_0 = \frac{t_0 - t_1}{\mu}, \quad \tau_1 = \frac{t_1 - t_0}{\mu}.$$

ТЕОРЕМА. Если $A_4(t)$- устойчивая матрица, то при управлении $u(t) = V\left(\frac{t_1 - t}{\mu}\right)$ вектор переменных состояния быстрой подсистемы $\tilde{z}_0(t,\mu)$ дается формулой

$$\begin{aligned} \tilde{z}_0(t,\mu) &= e^{A_4(t_*)\tau}\left(\tilde{z}^0 + A_4^{-1}(t_0) B_2(t_0) u^*(t_0)\right) - A_4^{-1}(t) B_2(t) u^*(t) + \\ &+ \left(W_* - e^{A_4(t_*)\tau} W_* e^{A_4'(t_1)\tau}\right)\cdot e^{-A_4'(t_*)\sigma} W_*^{-1} a_2. \end{aligned} \tag{23}$$

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Матрица $W(\sigma,\sigma_0)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\frac{dW}{d\sigma} = A_4(t_1) W + W A_4(t_1) + B_2(t_1) B_2'(t_1) \tag{24}$$

$$W(\sigma,\sigma_0) = 0$$

По условию теоремы $A_4(t)$-устойчива, то несобственный интеграл $W_* = \int_0^{\infty} e^{A_4(t_*)\lambda} B_2(t_1) B_2'(t_1) e^{A_4'(t_*)\lambda} d\lambda,$ сходится и является единственным решением матричного алгебраического уравнения Ляпунова [7]

$$A_4(t_1) W + W A_4(t_1) + B_2(t_1) B_2'(t_1) = 0. \tag{25}$$

Введем в (24) замену переменной $V = W - W_{*/}$. Тогда с учетом (25) из (24) получим

$$\frac{dV}{d\sigma} = A_4(t_1)V + VA_4(t_1), \quad V(\sigma, \sigma_0) = -W_* \tag{26}$$

Решение (26) можно записать в виде:

$$V(\sigma, \sigma_0) = -e^{A_4(t_*)(\sigma - \sigma_0)}W_* e^{A_4'(t_*)(\sigma - \sigma_0)} = -e^{A_4(t_*)\tau}W_* e^{A_4'(t_*)\tau}. \tag{27}$$

Отсюда будем иметь:

$$W(\sigma, \sigma_0) = W_* - e^{A_4'(t_*)\tau}W_* e^{A_4'(t_*)\tau} \tag{28}$$

Подставляю (28) в (22) получим (23), ч.т.д.

Как мы отметили выше, что управление $V\left(\frac{t_1 - t}{\mu}\right)$ переводит быструю подсистему из начального состояния $\tilde{z}(t_0) = \tilde{z}^0$ в конечное состояние $\tilde{z}(t_1) = \tilde{z}^1$ и соответствующая оптимальная траектория $\tilde{z}_0(t, \mu)$ при $\mu \to 0$ стремится к решению порождающей системы (7), причем в ней содержатся левые и правые пограничные функции, которые имеют существенные значения в окрестности граничных точек и при удалении от них быстро убывают. Таким образом, мы полностью определили первое приближение решения задачи P_μ.

При определении высших приближений решение задачи P_μ, выше изложенные процедуры аналогично повторяются. Как отмечены выше, что число слагаемых, образующих матричных полиномов $H_k(t, \mu)$, $N_k(t, \mu)$ на алгоритм решения задачи существенных изменений не оказывают. Члены ряда $H(t, \mu)$, $N(t, \mu)$ определяются из две независимых рекуррентных процедур, которые образованы согласно уравнения (5) [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В заключении отметим следующее:

Равномерное нулевое приближение к оптимальному управлению $u^0(t, \mu)$ может быть получено в результате декомпозиции исходной задачи на две задачи оптимального управления меньшей размерности, что позволяет сократить объём вычислительных процедур при решении конкретных практических задач;

Для каждой задачи оптимального управления меньшей размерности эффективно применялся метод моментов, что дало возможность определить оптимальное управление в замкнутой аналитической форме, при этом одновременно решается и краевая задача. Кроме того, предложенный приближенный способ позволяет изучить магистральные свойства оптимальных траекторий процесса;

Список литературы

1. Красовский Н.Н. Теория управления движениям - М.: Наука, 1968,47 с.
2. Иманалиев З. К. О приближенном решении сингулярно возмущенной задачи оптимального управления. //Иссл. По интегро - дифф. уравнениям. - Бишкек: Илим, 1997.-ВЫП.26.-С.152- 155.
3. Глизер В.Я., Дмитриев М.Г. Асимптотика решения одной сингулярно возмущенной задачи Коши, возникающей в теории оптимального управления.//Дифф. урав. - 1978. -Т.14, №4. - С.601 -612.
4. Васильева А.Б., Бутузов В.Ф. Асимптотические разложения решений сингулярно - возмущенных уравнений. - М.: Наука, 1973, 272с.
5. Иманалиев З.К., Аширбаев Б.Ы. О переходных матрицах медленных и быстрых подсистем с малым параметром. // Материалы межд. науч. конф. посв. 70 -летию акад. М.И. Иманалиева, «Асимптотические топологические и компьютерные методы в математике», Бишкек, 2001.-С.235-239.
6. Иманалиев З.К., Пахыров З.П., Аширбаев Б.Ы., Баракова Ж.Т. Разделение быстрых и медленных движений системы управления с малыми параметрами. // Материалы

международной научной конференции: «Современные технологии и управления качество в образовании, науке, производстве. Опыты, адаптации и внедрения», Ч.1., Бишкек: 2001, С.244-250.

7. Стрыгин В.В., Соболев В.А. Разделение движений методом интегральных многообразий - М.: Наука, 1988, 256с.

УДК 621.326.77

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЛАМПЫ: ПЛЮСЫ И МИНУСЫ

Ташмаматов Абдыманап Суранбаевич, *к.т.н., доцент, КГТУ им. И.Раззакова,* ***Нарынбаев Алишер Фархатович,*** *студент, КГТУ им. И.Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика. 720044 г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail:aebrat@mail.ru*

Цель статьи – сравнение эксплуатационных, физических и экономических параметров энергосберегающих ламп и традиционных ламп накаливания. Рассмотрены практические примеры применения энергосберегающих ламп, их принцип работы и структурные особенности. В статье подробно рассматриваются преимущества и недостатки энергосберегающих ламп в эквивалентном сравнении с традиционными лампами накаливания, проиллюстрированные на практических и наглядных расчётах с целью выявления экономической выгоды с позиции задач энергосбережения.

Ключевые слова: энергосбережение, энергосберегающие лампы, лампы накаливания, освещение, экономия, электроэнергия, электрическая мощность, расходы, световой поток.

ENERGY SAVING LAMPS: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Tashmamatov Abdymanap Suranbaevich, *Ph,D, Associate Professor, Kyrgyzstan, 720044, c. Bishkek, KSTU named after I.Razzakov,*
Narynbaev Alisher Farhatovich, *student, KSTU named after I.Razzakov, Kyrgyzstan, Bishkek, Miraave. 66, e-mail: aebrat@mail.ru*

The purpose of this article – comparison of operating, physical and economic parameters of energy-saving lamps and traditional incandescent bulbs. Here considered the practical examples of using energy-saving lamps in equivalent comparison with traditional incandescent lighting, illustrated in practical calculations to identify the economic benefits from the perspective of energy saving tasks.

Keywords: energy-saving, energy-saving lamps, incandescent lightings, lighting, economy, electric energy, electric power, costs, light stream.

Как известно, тьма – это отсутствие света. Человек 80% информации о мире воспринимает глазами. Так как естественного освещения со временем стало недостаточно, человечество изобрело осветительные приборы. Сначала это были примитивнейшие конструкции, но со временем они стали совершеннее во всех сферах своих возможностей. Сегодня, когда увеличивается количество используемых нами бытовых приборов, затраты на электроэнергию вырастают в разы.В каждой семье есть холодильник, телевизор, стиральная машина. Все чаще в наших квартирах «прописываются» компьютеры, посудомоечные машины, кухонные комбайны, электрочайники и другие приборы. Изрядное количество электроэнергии расходуется на освещение. Электроэнергия поступает в наши дома с электростанций различного типа и для ее производства сжигаются уголь, нефть, газ.