УДК 517.929

# О СТАБИЛИЗАЦИИ УПРАВЛЯЕМОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

**С. В. Павликов**[1], **А. Г. Исавнин**[2]

[1] *Набережночелнинский филиал Казанского национального исследовательского технического университета,*

[2] *Набережночелнинский филиал Казанского (Приволжского) федерального университета*

Поступила в редакцию 27.05.2013 г.

**Аннотация**: в работе исследуется задача о стабилизации положения равновесия управляемых механических систем, моделируемых неавтономными функционально-дифференциальными уравнениями запаздывающего типа с конечным запаздыванием. Задача решается на основе метода предельных уравнений с использованием функционала Ляпунова со знакопостоянной производной.

**Ключевые слова**: стабилизация, запаздывающая обратная связь, предельные уравнения, функционал Ляпунова.

**Abstract**: in the work a problem of stabilization of controlled systems simulated with non-autonomous functional-differential equations of delayed type with final delay is investigated. The problem is solved on the basis of the limit equations method and a Lyapunov's functional with a constant-sign derivative.

**Keywords**: stabilization, delayed feedback, limit equations, Lyapunov's functional.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] было предложено решение задачи о стабилизации управляемой механической системы на основе ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциальных)–регуляторов, при этом использовались знакоопределенные функционалы Ляпунова со знакоопределенной производной. Использование функционалов Ляпунова со знакопостоянной производной позволяет получить, в отличие от [1], более простые условия, как для конечного последействия (запаздывания), так и для бесконечного. В настоящей работе предложены различные типы регуляторов с конечным последействием и, в частности, показывается, что можно стабилизировать систему до равномерной асимптотической устойчивости на основе управления, которое зависит только от координат системы.

Рассмотрим управляемую механическую систему со стационарными, голономными, идеальными связями, положение которой определяется n обобщенными координатами $q = (q_1, q_2, \ldots, q_n)^T$.

Кинетическая энергия такой системы представима в виде:

$$T = \frac{1}{2}\dot{q}^T A\,(q)\,\dot{q}.$$

Здесь $A(q)$ — матрица размерности $n \times n$ является положительно-определённой.

Движения рассматриваемой системы определяются уравнениями Лагранжа:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = Q, \tag{1}$$

где $Q$ — матрица-столбец размерности $n \times 1$ обобщенных сил, действующих на систему.

Допустим, что в цепи обратной связи производится постоянное измерение обобщенных координат и (или) обобщенных скоростей таким образом, что возможно формирование в момент $t$ управления $Q$, зависящего от состояния системы на отрезке $[t-h, t]$, $h = const > 0$, $Q = Q(t, q_t, \dot{q}_t)$ (через $q_t$ обозначена функция, задаваемая для непрерывного отображения $q : R^+ \to R^n$ равенством $q_t = q(t+s)$, $-h \leqslant s \leqslant 0$).

Рассмотрим задачу об определении управления $Q = Q(t, q_t, \dot{q}_t)$, $Q(t, 0, 0) \equiv 0$, обеспечивающего асимптотическую устойчивость положения равновесия $q = \dot{q} = 0$ системы (1).

## 2. УПРАВЛЕНИЕ, ЗАВИСЯЩЕЕ ТОЛЬКО ОТ КООРДИНАТ СИСТЕМЫ

### Первый тип управления

Предположим, что управление имеет вид:

$$Q\left(t, q_t\right) = -C(t)q(t) + \int_{-h}^{0} F(t,s)q(t+s)ds. \tag{2}$$

Такой регулятор зависит только от координат системы и времени.
Полагаем:

$$M(t) = C(t) - \int_{-h}^{0} F(t,s)ds.$$

Тогда управление $Q$ можно представить в виде:

$$Q(t, q_t) = -M(t)q(t) + \int_{-h}^{0} F(t,s)(q(t+s) - q(t))ds. \tag{3}$$

С учетом (3) система (1) примет вид:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}\right) - \frac{\partial T}{\partial q} = -M(t)q(t) + \int_{-h}^{0} F(t,s)(q(t+s) - q(t))ds. \tag{4}$$

Докажем следующую теорему.
**Теорема 2.1.** Пусть выполняются следующие условия:

1) матрицы $C(t)$ и $F(t,s)$ являются ограниченными симметричными матрицами размерностей $n \times n$ при $t \in R^+$, $s \in [-h, 0]$;

2) матрица $M(t)$ является положительно определенной матрицей, ограниченной и равномерно непрерывной при $t \in R^+$;

3) матрица $F(t,s)$ непрерывно дифференцируема по $t$ и $s$, равномерно непрерывная при $t \in R^+$, $s \in [-h, 0]$, причем:

$$F(t,s) \geqslant 0, \quad \frac{\partial F(t,s)}{\partial s} - \frac{\partial F(t,s)}{\partial t} \geqslant a_0 E, \quad a_0 = const > 0, \quad \dot{M}(t) \leqslant 0, t \in R^+, s \in [-h, 0]\,.$$

Тогда управление вида (2) решает задачу о равномерной асимптотической устойчивости положения равновесия $q = \dot{q} = 0$ системы (1).

**Доказательство.** Возьмем функционал Ляпунова в виде:

$$V(t, q_t, q, \dot{q}) = \frac{1}{2}q^T(t)M(t)q(t) + \frac{1}{2}\dot{q}^T(t)A\dot{q}(t) + \frac{1}{2}\int\limits_{-h}^{0}(q(t+s) - q(t))^T F(t,s)(q(t+s) - q(t))ds.$$

Этот функционал является определенно-положительным по $q$ и $\dot{q}$:

$$V \geqslant \omega_0 \cdot |\dot{q}|^2 + \omega_1(|q|), \text{ где } \quad |\dot{q}|^2 = \dot{q}_1^2 + \ldots + \dot{q}_n^2, \quad \omega_0 = const > 0,$$

$\omega_1$ — функция типа Хана. Кроме того, этот функционал допускает бесконечно малый высший предел по $\|q_t\| = \sup(|q(t+s)|, s \in [-h, 0])$, $\|\dot{q}_t\| = \sup(|\dot{q}(t+s)|, s \in [-h, 0])$:

$$V \leqslant \omega_2(\|q_t\|) + \omega_3(\|\dot{q}_t\|),$$

где функции $\omega_2$ и $\omega_3$ есть функции типа Хана.

Тогда производная функционала в силу системы (4) будет иметь оценку:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{2}q^T\dot{M}(t)q - \frac{1}{2}(q(t-h) - q(t))^T F(t,-h)(q(t-h) - q(t)) -$$
$$- \frac{1}{2}\int\limits_{-h}^{0}(q(t+s) - q(t))^T(\frac{\partial F(t,s)}{\partial s} - \frac{\partial F(t,s)}{\partial t})(q(t+s) - q(t))ds \leqslant$$
$$\leqslant -\frac{a_0}{2}\int\limits_{-h}^{0}(q(t+s) - q(t))^T(q(t+s) - q(t))ds \leqslant 0.$$

Полагаем:

$$W(q) = \frac{a_0}{2}\int\limits_{-h}^{0}(q(t+s) - q(t))^T(q(t+s) - q(t))ds.$$

При сделанных предположениях предельная система к (4) будет иметь следующий вид [2]:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}\right) - \frac{\partial T}{\partial q} = -M^*(t)q(t) + \int\limits_{-h}^{0}F^*(t,s)(q(t+s) - q(t))ds. \tag{5}$$

Здесь матрицы в правой части (5) для каждой последовательности $t_n \to +\infty$, $n \to \infty$, определяются следующим образом:

$$M^*(t) = \lim_{t_n \to +\infty} M(t + t_n), \quad F^*(t,s) = \lim_{t_n \to +\infty} F(t + t_n, s), \quad t \in R^+, \quad s \in [-h, 0].$$

Множество

$$\{W(q) = 0\} = \{q(t+s) = q(t),\ \forall s \in [-h, 0],\ \forall t \in R\} \equiv \{q(t) = c = const,\ \forall t \in R\}.$$

Это множество содержит из решений (5) только нулевое решение $q = \dot{q} = 0$. По теореме 4.5 из [3] получаем, что положение равновесия $q = \dot{q} = 0$ равномерно асимптотически устойчиво. Теорема доказана.

**Замечание 2.1.** Если на систему (1) действуют потенциальные силы $-\frac{\partial \Pi}{\partial q}(t,q) = -C(t)q$, тогда в условиях теоремы 2.1 стабилизирующее управление для системы (1) можно определить в следующем виде:

$$Q\,(t, q_t) = \int\limits_{-h}^{0} F(t,s)q(t+s)ds.$$

**Второй тип управления**

Предположим теперь, что управление имеет вид:

$$Q\,(t, q_t) = -F_0(t)q(t) + C_0(t)q(t-h). \tag{6}$$

Выполним следующее преобразование:

$$Q = -F_0(t)q(t) + C_0(t)q(t-h) = -(F_0(t) - C_0(t))q(t) - \int\limits_{-h}^{0} C_0(t)\dot{q}(t+s)ds.$$

Таким образом, изучение управления вида (6) можно свести к изучению ПИД-регулятора типа:

$$Q\,(t, \dot{q}_t, q) = -F(t)q(t) - \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)\dot{q}(t+s)ds. \tag{7}$$

Для упрощения последующих преобразований предположим, что матрица $A$ не зависит от $q$. С учетом этого и (7) система (1) примет вид:

$$A\ddot{q} = -F(t)q(t) - \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)\dot{q}(t+s)ds. \tag{8}$$

Проведем некоторые преобразования второго слагаемого в регуляторе (7).

$$\int\limits_{-h}^{0} C(t,s)\dot{q}(t+s)ds = \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)(\dot{q}(t) - \int\limits_{t+s}^{t} \ddot{q}(\tau)d\tau)ds =$$
$$= (\int\limits_{-h}^{0} C(t,s)ds)\dot{q}(t) - \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)(\int\limits_{t+s}^{t} \ddot{q}(\tau)d\tau)ds.$$

Выразим теперь из (8) $\ddot{q}$. Это возможно, так как матрица $A$ невырожденная. Получаем:

$$\ddot{q} = -A^{-1}F(t)q(t) - A^{-1}\int\limits_{-h}^{0} C(t,s)\dot{q}(t+s)ds. \tag{9}$$

С учетом (9) получаем, что система (8) примет вид:

$$A\ddot{q} = -C_1(t)q(t) - (\int\limits_{-h}^{0} C(t,s)ds)\dot{q}(t) + \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)A^{-1}\int\limits_{t+s}^{t} F(\tau)\int\limits_{\tau}^{t} \dot{q}(u)dud\tau ds -$$
$$- \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)A^{-1}\int\limits_{t+s}^{t}\int\limits_{-h}^{0} C(\tau,u)\dot{q}(\tau+u)dud\tau ds. \tag{10}$$

Здесь $C_1(t) = -F(t) + \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)A^{-1} \int\limits_{t+s}^{t} F(\tau)d\tau ds.$

**Теорема 2.2.** Пусть матрицы $F(t)$,$C(t,s)$ и $C_1(t)$ являются положительно определенными матрицами, ограниченными и равномерно непрерывными размерностей $n \times n$, $C_1(t)$ дифференцируема при $t \in R^+$, $s \in [-h, 0]$ , причем справедливы следующие неравенства:

$$\max_{(i,j)} |F_{ij}| \leqslant f_1 = const, \quad \max_{(i,j)} |C_{ij}| \leqslant c_1 = const, \quad \max_{(i,j)} |A_{ij}| \leqslant a_1 = const,$$

$$\frac{1}{2h} C_1^{-1} \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)ds - \frac{1}{4h} C_1^{-1} \dot{C}_1 C_1^{-1} A \geqslant (\frac{c_1 a_1 n^3 h^2 (f_1 + c_1)}{2} + \varepsilon_0)E, \varepsilon_0 = const > 0, \quad C_1^{-1} A > 0.$$

Тогда управление вида (6) (соответственно управление вида (7)) решает задачу о равномерной асимптотической устойчивости положения равновесия $q = \dot{q} = 0$ системы (1).

**Доказательство.** Возьмем функционал Ляпунова в виде:

$$V(t, q, \dot{q}_t) = \frac{1}{2} q^T(t) q(t) + \frac{1}{2} \dot{q}^T(t)(C_1^{-1} A)\dot{q}(t) + \lambda \int\limits_{-2h}^{0} \int\limits_{s}^{0} \dot{q}^T(t+u)\dot{q}(t+u) du ds.$$

Здесь $\lambda = \frac{c_1 a_1 n^3 h^2 (f_1 + c_1)}{2}$.

Производная функционала в силу системы (10) будет иметь оценку:

$$\frac{dV}{dt} \leqslant -2h\varepsilon_0 \cdot \dot{q}^T(t)\dot{q}(t) \leqslant 0.$$

Полагаем:

$$W(\dot{q}) = 2h\varepsilon_0 \dot{q}^T(t)\dot{q}(t).$$

При сделанных предположениях, предельная система к (8) будет иметь следующий вид:

$$A\ddot{q} = -F^*(t)q(t) - \int\limits_{-h}^{0} C^*(t,s)\dot{q}(t+s)ds. \tag{11}$$

Повторяя рассуждения доказательства предыдущей теоремы, получаем, что положение равновесия $q = \dot{q} = 0$ равномерно асимптотически устойчиво.

**Замечание 2.2.** Если на систему (1) действуют потенциальные силы $-F_0 q(t)$, тогда в условиях теоремы 2.2 стабилизирующее управление для системы (1) можно определить в виде:

$$Q(t, q_t) = C_0(t) q(t-h).$$

## 3. УПРАВЛЕНИЯ, ЗАВИСЯЩИЕ ОТ КООРДИНАТ И СКОРОСТЕЙ

### Третий тип управления

Предположим теперь, что управление имеет вид ПИД–регулятора:

$$Q(t, q_t, \dot{q}) = -F(t)\dot{q}(t) - \int\limits_{-h}^{0} C(t,s) q(t+s) ds. \tag{12}$$

Проведем некоторые преобразования второго слагаемого в регуляторе:

$$\int\limits_{-h}^{0} C(t,s)q(t+s)ds = \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)(q(t) - \int\limits_{t+s}^{t} \dot{q}(u)du)ds = (\int\limits_{-h}^{0} C(t,s)ds)q(t) - \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)(\int\limits_{t+s}^{t} \dot{q}(u)du)ds.$$

Тогда система (1) примет вид:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = -F(t)\dot{q}(t) - (\int\limits_{-h}^{0} C(t,s)ds)q(t) + \int\limits_{-h}^{0} C(t,s)(\int\limits_{t+s}^{t} \dot{q}(u)du)ds. \qquad (13)$$

**Теорема 3.1.** Пусть матрицы $F(t)$ и $C(t,s)$ являются положительно определенными матрицами, ограниченными и равномерно непрерывными размерностей $n \times n$ при $t \in R^+$, $s \in [-h, 0]$, причем:

$$\max_{(i,j)} |C_{ij}| \leqslant L = const, \quad f(t) > Lh^2 n + \varepsilon_0, \quad \int\limits_{-h}^{0} \frac{\partial C(t,s)}{\partial t} ds \leqslant 0, \quad t \in R^+, \quad \varepsilon_0 = const > 0,$$

где $f(t)$ есть минимальное собственное значение матрицы $F(t)$.

Тогда управление вида (12) решает задачу о равномерной асимптотической устойчивости положения равновесия $q = \dot{q} = 0$ системы (1).

**Доказательство.** Возьмем функционал Ляпунова в виде:

$$V(t, q_t, \dot{q}) = \frac{1}{2} q^T(t)(\int\limits_{-h}^{0} C(t,s)ds)q(t) + \frac{1}{2}\dot{q}^T(t)A\dot{q}(t) + \frac{Lhn}{2}\int\limits_{-h}^{0}\int\limits_{s}^{0} \dot{q}^T(t+u)\dot{q}(t+u)duds.$$

Тогда производная функционала в силу системы (13) будет иметь оценку:

$$\frac{dV}{dt} \leqslant -\varepsilon_0 \dot{q}^T(t)\dot{q}(t) \leqslant 0.$$

Полагаем:

$$W(\dot{q}) = \varepsilon_0 \dot{q}^T(t)\dot{q}(t).$$

При сделанных предположениях, предельная система к (13) будет иметь следующий вид:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = -F^*(t)\dot{q}(t) - \int\limits_{-h}^{0} C^*(t,s)q(t+s)ds. \qquad (14)$$

Множество $\{W(\dot{q}) = 0\} = \{\dot{q} = 0\}$ содержит из решений (14) только нулевое решение $q = \dot{q} = 0$. Повторяя рассуждения доказательства теоремы 2.1, получаем, что положение равновесия $q = \dot{q} = 0$ равномерно асимптотически устойчиво. Теорема доказана.

**Замечание 3.1.** Если на систему (1) действуют диссипативные силы $-F(t)\dot{q}$, тогда в условиях теоремы 3.1 стабилизирующее управление для системы (1) можно определить в виде:

$$Q(t, q_t) = -\int\limits_{-h}^{0} C(t,s)q(t+s)ds.$$

### Четвертый тип управления

Определим управление в виде:

$$Q\left(t, q_t, \dot{q}\right) = -F(t)\dot{q}(t) - C(t)q(t-h). \tag{15}$$

С учетом (15) система (1) примет вид:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = -F(t)\dot{q}(t) - C(t)q(t-h). \tag{16}$$

**Теорема 3.2.** Пусть матрицы $F(t)$ и $C(t)$ являются положительно определенными матрицами, ограниченными и равномерно непрерывными размерностей $n \times n$, $C(t)$ дифференцируема при $t \in R^+$, причем:

$$L = \max_{(i,j)} |C_{ij}| < \frac{\mu}{hn}, \quad \dot{C}(t) \leqslant 0, \quad t \in R^+,$$

где $\mu$ есть минимальное собственное значение матрицы $F(t)$ при $t \in R^+$.

Тогда управление вида (12) решает задачу о равномерной асимптотической устойчивости положения равновесия $q = \dot{q} = 0$ системы (1).

**Доказательство.** Возьмем функционал Ляпунова в виде:

$$V(q_t, \dot{q}) = \frac{1}{2}q^T(t)C(t)q(t) + \frac{1}{2}\dot{q}^T(t)A\dot{q}(t) + \frac{\mu}{2h}\int\limits_{-h}^{0}\int\limits_{s}^{0} \dot{q}^T(t+u)\dot{q}(t+u)duds.$$

Тогда производная функционала в силу системы (16) будет иметь оценку:

$$\frac{dV}{dt} \leqslant -\frac{1}{2}(\mu - Lnh)\dot{q}^T(t)\dot{q}(t) \leqslant 0.$$

Полагаем:

$$W(\dot{q}) = \frac{1}{2}(\mu - Lnh)\dot{q}^T(t)\dot{q}(t).$$

При сделанных предположениях предельная система к (16) будет иметь следующий вид:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = -C^*(t)q(t) - F^*(t)\dot{q}(t) + C^*(t)\int\limits_{-h}^{0} q(t+s)ds. \tag{17}$$

Множество $\{W(\dot{q}) = 0\} = \{\dot{q} = 0\}$ содержит из решений (17) только нулевое решение $q = \dot{q} = 0$. Повторяя рассуждения доказательства предыдущей теоремы, получаем, что положение равновесия $q = \dot{q} = 0$ равномерно асимптотически устойчиво.

**Теорема 3.3.** Пусть матрицы $F(t)$ и $C(t)$ являются положительно определенными матрицами, ограниченными и равномерно непрерывными размерностей $n \times n$, $C(t)$ дифференцируема при $t \in R^+$, причем:

$$C^{-1}A > 0, \quad C^{-1}F + \frac{1}{2}C^{-1}\dot{C}C^{-1}A > (h+\varepsilon_0)E, \quad \varepsilon_0 = const > 0, \quad t \in R^+.$$

Тогда управление вида (12) решает задачу о равномерной асимптотической устойчивости положения равновесия $q = \dot{q} = 0$ системы (1).

**Доказательство.** Возьмем функционал Ляпунова в виде:

$$V(q_t, \dot{q}) = \frac{1}{2}q^T(t)q(t) + \frac{1}{2}\dot{q}^T(t)C^{-1}A\dot{q}(t) + \frac{1}{2}\int\limits_{-h}^{0}\int\limits_{s}^{0} \dot{q}^T(t+u)\dot{q}(t+u)duds.$$

Его производная, в силу системы (16), будет иметь оценку:

$$\frac{dV}{dt} \leqslant -\varepsilon_0 \dot{q}^T(t)\dot{q}(t) \leqslant 0.$$

Полагаем $W(\dot{q}) = \varepsilon_0 \dot{q}^T(t)\dot{q}(t)$. Повторяя рассуждения доказательства предыдущей теоремы, получаем, что положение равновесия $q = \dot{q} = 0$ равномерно асимптотически устойчиво. Теорема доказана.

**Замечание 3.2.** Если на систему (1) действуют диссипативные силы $-F(t)\dot{q}$, тогда в условиях теорем 3.2 и 3.3 стабилизирующее управление для системы (1) можно определить в виде:

$$Q\left(t, q_t\right) = -C(t)q(t-h).$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящей работе предложены различные типы регуляторов и, в частности, показывается, что можно стабилизировать систему до равномерной асимптотической устойчивости на основе управления, которое зависит только от координат системы.

Полученные результаты развивают и дополняют результаты из [1], [4], [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] *Ананьевский И.М., Колмановский В.Б.* О стабилизации некоторых регулируемых систем с последействием // Автоматика и телемеханика. 1989. № 3. С.15–17.

[2] *Андреев А.С., Хусанов Д.Х.* Предельные уравнения в задаче об устойчивости функционально-дифференциального уравнения // Дифференциальные уравнения – 1998. – 34, N4. – С.435-440.

[3] *Андреев А.С., Хусанов Д.Х.* К методу функционалов Ляпунова в задаче об устойчивости и неустойчивости // Дифференциальные уравнения – 1998. – 34, N7. – С.876-885.

[4] *Павликов С.В.* К задаче о стабилизации управляемых механических систем // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 9. – С. 16-27.

[5] *Павликов С.В.* О стабилизации движений управляемых механических систем с запаздывающим регулятором // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 412. – № 2. – С. 176-178.

*Павликов С.В., доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин, Набережночелнинский филиал Казанского национального исследовательского технического университета*
*E-mail: svpavlikov@yandex.ru*
*Тел.: +7 917-933-55-10*

*Pavlikov S.V., Doctor of Sciences (Physics and mathematics), Professor, Kazan national exploring technical university, branch in Naberezhnye Chelny, Chair of Natural sciences*
*E-mail: svpavlikov@yandex.ru*
*Tel.: +7 917-933-55-10*

*Исавнин А.Г., доктор физ.-мат.наук, профессор кафедры математических методов в экономике, Набережночелнинский филиал Казанского (Приволжского) федерального университета*
*E-mail: isavnin@mail.ru*
*Тел.: +7 904-768-77-83*

*Isavnin A.G., Doctor of Sciences (Physics and mathematics), Professor, Kazan (Volga region) federal university, branch in Naberezhnye Chelny, Chair of Mathematical simulations in economics*
*E-mail: isavnin@mail.ru*
*Tel.: +7 904-768-77-83*